

Kaivosbuumi – odotuksia, tavoitteita ja tutkimusta



Kaivosbuumi – odotuksia, tavoitteita ja tutkimusta

Arja Kotkansalo • Leena Parkkila • Aslak Siimes • Ville Rauhala

Kaivosbuumi – odotuksia, tavoitteita ja tutkimusta

Sarja B. Raportit ja selvitykset 16/2016

© Lapin ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-316-144-3 (pdf)
ISSN 2342-2491 (verkkojulkaisu)

Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja
Sarja B. Raportit ja selvitykset 16/2016

Rahoittajat: Kajaanin ammattikorkeakoulu,
Opetus- ja kulttuuriministeriö

Kirjoittajat: Arja Kotkansalo, Leena Parkkila,
Aslak Siimes & Ville Rauhala

Kansikuva: Rodeo

Taitto: Lapin AMK, viestintäyksikkö

Lapin ammattikorkeakoulu
Jokiväylä 11 C
96300 Rovaniemi

Puh. 020 798 6000
www.lapinamk.fi/julkaisut

Lapin korkeakoulukonserni



Lapin korkeakoulukonserni LUC
on yliopiston ja ammattikorkeakoulun strateginen yhteenliittymä.
Konserniin kuuluvat Lapin yliopisto
ja Lapin ammattikorkeakoulu.
www.luc.fi

Sisällys

ESIPUHE	7
KAIVOSTEN KÄYTETTÄVYYTEEN LIITTYVÄN TUTKIMUKSEN NYKYTILASELVITYS	
JOHDANTO	11
LAPIN AMMATTIKORKEAKOULUN TKI-TOIMINTA	13
Operation & Maintenance – käynnissäpidon tutkimus	14
Arctic Steel and Mining – materiaali ja mineraalitekniikka	15
Optisen mittaustekniikan laboratorio	15
Arctic Power – olosuhteet ja ICT	16
Arctic Civil Engineering - rakennustekniikka	17
KÄYTETTÄVYYS JA SEN MITTAUS	19
KAIVOSTOIMINTA	23
Louhinta	24
Porauslaitteisto	24
Lastaus ja kuljetus	25
Autonomiset toiminnot	25
Kaivinkoneen kauhan hampaiden seuranta	27
Kunnossapidon kustannusten optimointi	30
Laitteiden monitorointi ja käyttöliittymä	30
LHD-ajoneuvot	31
Hihnakuuljetin	32
RIKASTUS	33
Murskaus	33
Murskauksen toimintakyky	34
Murskauksen prosessioptimointi	35
Seulonta	37
Jauhatus	38
Palarikastus	40

YHTEENVETO	41
LÄHDELUETTELO	43
KAIVOSALAN OSAAMISKESKUS	47

Esipuhe

Lapin AMK osallistui Opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittamaan ”Kaivannaisalan osaamisen kehittämisen korkeakouluverkosto -NMN” eli Northern Mining Network -hankkeeseen yhdessä Kajaanin ammattikorkeakoulun kanssa. Hankkeen tavoitteena oli kaivostoimialaan liittyen kehittää ammattikorkeakoulun henkilöstön osaamista, työelämävaihtoja, kansainvälistä toimijaverkostoa, englanninkielistä koulutustarjontaa, kansainvälistä hanketoimintaa, korkeakoulutasoisen osaamisen tarjontaa kaivannaisalan teollisuudelle sekä vientimahdollisuuksien pilotointia valituilla kärkeutuotteilla.

Tämä raportti on yksi osa hankkeessa tehtyä selvitystyötä ”Kaivosten käytettävyyteen liittyvän tutkimuksen nykytilaselvitys”, jossa etsittiin tietoa kaivosten käytettävyyden parantamiseksi tehtävästä tutkimus- ja kehitystyöstä muissa maissa. Selvityksen myötä tavoitteena oli tunnistaa Lapin AMKin tutkimusryhmille uusia avauksia hanketoimintaan ja sitä kautta tukea pohjoisia kaivostoimijoita. Selvityksessä keskitettiin käytettävyyden parantamiseen tähtääviin toimiin kaivostoiminnan eri osaprosesseissa, käsittäen louhinnan ja rikastuksen eri vaiheita. Erityistä huomiota kiinnitettiin kunnossapitoon, materiaalitutkimukseen sekä optiseen mittausteknologiaan perustuviin ratkaisuihin.

Tämän raportin yhteydessä päätettiin julkaista myös TkT Markku Mannisen aiemmin tekemä selvitys kaivosalan osaamiskeskuksen perustamisesta Lapin AMKiin. Selvityksessä on käsitelty kaivosalan globaaleja trendejä sekä tehty myös katsaus kaivosalan tilanteeseen Suomessa. Selvityksessä on luotu myös visio Lapin AMKissa tapahtuvalle kaivosalan tutkimukselle vuosille 2016-2020. Selvitys sisältää ehdotuksen visioksi sekä koko TKI:n toiminnalle että kullekin tutkimusryhmälle. Selvityksessä ehdotetaan toimia myös TKI:n sisäisen toiminnan kehittämiseksi sekä yhteistyön lisäämiseksi TKI:n ja opetuksen välillä.

Kemissä 22.12.2015

TEKIJÄT

Kaivosten käytettävyyteen liittyvän tutkimuksen nykytilaselvitys

Johdanto

Lapin ammattikorkeakoulu oli osallisena ”Kaivannaisalan osaamisen kehittämisen korkeakouluverkosto -NMN” eli Northern Mining Network -hankkeessa. Yhteistyökumppaneina olivat Oulun lisäksi myös Aalto- ja Lappeenrannan yliopistot. Hanke oli toteutettu 1.12.2013–31.12.2015 välisenä aikana. Hankkeessa koordinoijana toimi Kajaanin ammattikorkeakoulu. (Kähkönen;Juola;& Uusimäki, 2013)

Tämä raportti on yksi osa hankkeessa tehtävää selvitystyötä. Kirjallisuusselvityksen tavoitteena oli etsiä tietoa mitä muissa kaivosintensiivisissä maissa tutkitaan ja kehitetään kaivoksien käytettävyyden parantamiseksi ja kuinka Lapin AMKin tutkimusryhmät voisivat löytää uusia avauksia hanketoimintaan ja sitä kautta tukemaan pohjoisia kaivostoimijoita. Pääkohteena olivat käytettävyyden tehostamistoimet kaivosten ylösajojen jälkeisessä toiminnassa, erityisesti kunnossapidon ja materiaalien käytettävyyden parantamiseksi. Tarkasteltavana aikavälinä olivat julkaisut vuodesta 2005–2015 saakka.

Amerikassa ja Kanadassa tehdyn tutkimuksen mukaan, kaivosteollisuus on lisännyt investointejaan digitaaliseen ja automatisoituihin ratkaisuihin. Global Management Consulting ennustaa tämän trendin jatkuvan. Yritykset investoivat uuteen teknologiaan parantaakseen toimintojaan ja ylläpitääkseen kilpailuetuaan. Tutkimuksen mukaan seuraava investointiaalto tulee koskemaan eri järjestelmien integraatiota, joita kaivoksissa käytetään. (Eames, 2014)

Lapin ammattikorkeakoulun TKI-toiminta

Lapin Ammattikorkeakoulun teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisalan tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta (TKI) on monialaista ja laajuudeltaan Suomen ammattikorkeakoulujen kärkeä. TKI:n toiminta on kytketty eri tavoin tiiviisti opetukseen. Lapin AMKin strategian painoaloja ovat: arktinen yhteistyö ja rajaosaaminen, luonnonvarojen älykkään käytön edistäminen, etäisyyksien hallinta ja turvallisuusosaaminen. Keskiössä on palveluliiketoiminta ja yrittäjyys. (Okkonen, 2015) Lapin ammattikorkeakoulun TKI:n liikevaihto oli vuonna 2014 noin 8 miljoonaa euroa. Henkilökuntaa oli yhteensä noin 50, joista noin puolet Kemi-Tornio alueella ja puolet Rovaniemellä.

Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisalan TKI-toiminta on organisoitunut sekä keskenään että ulospäin yhteistyötä tekeviin tutkimusryhmiin. Tämänhetkisiä ryhmiä ovat:

- Arctic Civil Engineering (ACE) – rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkimusryhmä
- Arctic Power (AP) – talvi- ja kylmätekniologian osaamiskeskittymä, olosuhteet ja ICT
- Arctic Steel & Mining (ASM) – materiaalien käytettävyyden tutkimus ja mineraalitekniikka
- ELMA – Elektroniikka- ja materiaalilaboratorio
- Luonnonvara-ala
- Operation & Maintenance (O&M) – käynnissäpidon tutkimus
- Optisen mittaustekniikan laboratorio (OML)
- pLab – ohjelmistotekniikan laboratorio. (Kotkansalo & Saari, 2015)

Tässä raportissa on esitelty kaivoksien käytettävyyden parantamiseksi liittyviä tutkimuksia ja niihin liittyviä toimenpiteitä. Seuraavaksi esiteltävät tutkimusryhmät liittyvät osaamisensa puolesta näihin tutkimuksiin ja niiden tuloksiin, joista Lapin AMKin eri tutkimusryhmät voisivat löytää uusia avauksia hanketoimintaan ja sitä kautta tukemaan pohjoisia kaivostoimijoita heidän työssään.

OPERATION & MAINTENANCE – KÄYNNISSÄPIDON TUTKIMUS

Käynnissäpidon tutkimusryhmä toimii tiiviissä yhteistyössä alueen teollisuuden ja PK-yritysten sekä eri tutkimus- ja koulutusyhteisöjen kanssa. Lisäksi ryhmä osallistuu aktiivisesti kunnossapidon opetukseen ja sen kehittämistyöhön Lapin AMKissa. Tutkimusryhmä toteuttaa yhteistyössä yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa käynnissäpitoon liittyviä tutkimus- ja kehitysprojekteja, joista osa on julkisia tutkimushankkeita, osa suoria toimeksiantoja yrityksiltä. Myös käynnissäpitoon liittyviä koulutuspalveluja yrityksiin on tarjolla. (Lapin AMK_a, 2015)

Toteutetuissa projekteissa tyypillisiä aihe-alueita ovat olleet:

- kunnossapitoon liittyvä tiedonhallinta
- kunnossapidon tietojärjestelmiin liittyvä kehitystyö
- kunnossapidon mittareiden ja tunnuslukujen kehitys
- kriittisyysanalyysien tehostaminen
- hiljaisentiedon hallinta ja osaamisen siirto
- ennakoiva kunnossapito ja sen menetelmät
- vikaantumismuotojen ja vikasyiden analysointi
- tuotanto-omaisuuden elinkaaren hallinta
- kunnossapitotöiden suunnittelun tehostaminen
- käyttö- ja kunnossapito-organisaatioiden yhteistyön kehittäminen
- teollisuuden sulautettujen järjestelmien suunnittelu ja kehitys
- optisen mittaustekniikan soveltaminen kunnonvalvontaan.

(Lapin AMK_a, 2015)

Tutkimustyössä hyödynnetään ensisijaisesti kunnossapidon ja tuotantoprosessin tietojärjestelmiin tallennettuja tietoja. Tarvittaessa voidaan tehdä konenäköön sekä värähtelymittaukseen perustuvia mittauskampanjoita.

Käynnissäpidon tutkimusryhmä järjestää vuosittain huhtikuussa Kemissä järjestettävän käynnissäpidon ja kaivosteollisuuden pohjoisen foorumin Rikasta Pohjoista yhteistyössä ASM-tutkimusryhmän kanssa, kooten yhteen Pohjoisen merkittävimmät toimijat kaivos- ja prosessiteollisuudesta. (Lapin AMK_a, 2015)

ARCTIC STEEL AND MINING – MATERIAALI JA MINERAALITEKNIikka

Kevästä 2015 alkaen materiaalien käytettävyyden tutkimusryhmä on nimeltään Arctic Steel and Mining (ASM). ASM soveltaa materiaali- ja tuotantotekniikkaa metallialan yritysten tuotekehityksen ongelmien ratkaisuun ja koulutukseen. Osaamisalueita ovat mm.

- ruostumattomat teräkset sekä ultralujat rakenne-, kulutus- ja suojausteräkset
- leikkaus, liittäminen, muovaus ja viimeistely
- uudet tuotantoteknologiat, tuotannon tehostaminen
- erilaiset testaukset ja mittaukset; mekaaniset ominaisuudet, iskutkeys, vaurioselvitykset, muovattavuuden tutkiminen, jne.
- testaukseen liittyvä työkalu- ja näytteenvalmistus
- 3D reverse-engineering, 3D suunnittelu, muovauksen FEM – mallinnus
- protovalmistus
- hitsauskokeet ja -ohjeet
- suurpainemuovaus. (Lapin AMK_b, 2015)

Ryhmässä työskentelee tällä hetkellä 11 henkilöä, joista kahdeksalla on ylempi korkeakoulututkinto ja heistä neljä on erikoistunut perus- ja jatko-opinnoissaan fysikaaliseen metallurgiaan.

Arctic Steel and Mining toimii teräksiä ja niiden jatkojalostusteknologioita tutkivana ja kouluttavana asiantuntijaorganisaationa asiakkainaan ja yhteistyökumppaneinaan terästen valmistajat ja jatkojalostajat. Ammattikorkeakoululain mukaisesti he tekevät soveltavaa tutkimusta, joka tarkoittaa yritysten kannalta konkreettisia ja nopeasti hyödynnettävissä olevia tuloksia. Näitä ovat esim. kulutusterästen tutkiminen kaivosten käytännön kohteissa, tilastollisesti luotettava uusien erikoisterästen minimisärmäyssäteen määrittäminen. Myös kantavan teräsrakenteen suunnittelu, hitsaukseen liittyvä menetelmäkokeiden teko sekä konepajan laatuvarmistuksen implementointi, ovat ryhmän erityisosaamista. (Lapin AMK_b, 2015)

OPTISEN MITTAUSTEKNIIKAN LABORATORIO

Optisen mittaustekniikan laboratorio on konenäkötekniikkaan erikoistunut tutkimus- ja kehityslaboratorio, jolla on kokemusta konenäkötekniikan soveltamisesta ja toimivuudesta erilaisissa sovelluksissa. Optisen Mittaustekniikan laboratorion tutkimus- ja kehitysprojekteissa tutkitaan konenäön eri osa-alueiden teknologiaa tarvelähtöisesti. Eri projekteissa on tavoitteena tutkia ja kehittää sellaista teknologiaa, jota ei ole suoraan saatavissa valmiina, ja josta on lisäarvoa pitkällä aikavälillä jollekin teknologian hyödyntäjälle tai loppukäyttäjälle. (Lapin AMK_c, 2015)

Konenäön osalta tutkimusalueet ovat:

- Kuvanmuodostusmenetelmät ja laitteet (kuvausgeometria, valaisu, optiikat, kamerat), erityisesti hankalissa ympäristöolosuhteissa.
 - 3D mittausmenetelmät (strukturoidun valaisun hyödyntäminen, usean kameran hyödyntäminen, valon kulkuaikamittauskamerat, ns. TOF kamerat ja laser skannerit) ja niiden sovellukset sekä 3D mittausjärjestelmien kalibrointimenetelmät.
 - Automaattinen kuvankäsittely harmaasävy ja RGB värikuville sekä 3D kuville (syvyyskuvat, depth image).
 - Optisten 3D koordinaattimittausmenetelmien (mm. takymetrimittaukset) tutkimusalueet ovat:
 - Tehokkaat ja automaattiset ”as-built” 3D mallinnusmenetelmät
 - Suurten kappaleiden valmistustarkkuuden hallinta koordinaattimittauksiin perustuen
 - Automaattinen takymetrihienosuuntaus kamerakuvaan perustuen
 - Interaktiiviset 3D mittausinformaation visualisointimenetelmät
 - Matalankustannustason 3D mittalaitteiden teolliset sovellukset.
- (Kotkansalo & Saari, 2015)

Osaaminen perustuu vahvoihin henkilö- ja laitteistoresursseihin sekä pitkäjänteiseen konenäkötekniikan soveltavan tutkimuksen toteuttamiseen. Osaamisen perusta sisältää vahvan teknologisen osaamisen konenäön perusosa-alueilla, kokemuksen teknologian soveltamisesta ja soveltuvuudesta erityyppisiin sovelluksiin ja kokemuksen ja osaamisen konenäköjärjestelmien määrittelystä ja pilotoinnista. (Lapin AMK_c, 2015)

ARCTIC POWER – OLOSUHTEET JA ICT

Kylmä- ja talviteknologiaan erikoistuneella Arctic Power tutkimusryhmällä osaamisessa korostuu kylmien olosuhteiden hallinta ja vahva tieto- ja viestintätekniikan osaaminen. Ryhmä on keskittynyt kylmätestauksessa tarvittavien olosuhteiden hallintaan ja mittaustekniikkaan eri muodoissaan. Osaamisessa korostuu:

- Projektin ideointi
- Suunnittelu ja hallinta
- Mittaustekniikka
 - Laitekanta; mm. National Instrumentsin Crio-alustat ja moduulit
 - Ohjelmistot; mm. Labview- ja Diadem
 - Python-ohjelmointi
 - Mikroprosessorialustat.

Analysoinnissa ja visualisoinnissa, on mukana koko Arctic Power-laboratorion toimintaympäristö. Lisäksi mittausjärjestelmien kehittämistä räätälöidään tutkimus- ja kehittämistarpeiden mukaisesti. (Kotkansalo & Saari, 2015)

Monipuolinen toimintaympäristö koostuu kylmäkaapeista, sähkö- ja mekaniikka-työpajasta sekä useista koneista ja laitteista. Laboratoriossa on mm. seuraavia koneita ja laitteita:

- Olosuhdehuone
 - Vaihtolämpöhuone ja tuulikone
 - Testirata
 - Moottoridynamometri sähköajoneuvojen moottoritestaukseen
 - Alustadynamometri
 - (työ)vaatteiden lämpöeristemittausnukke
 - Jäätäväsade testauslaite
 - Lumitykkeitä 3 kpl
 - Keinokuorma sähköajoneuvojen energiajärjestelmien testaukseen
 - sekä monia muita mittalaitteita ja työkoneita ja -laitteita.
- (Kotkansalo & Saari, 2015)

ARCTIC CIVIL ENGINEERING - RAKENNUSTEKNIikka

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan TKI-ryhmä on nimeltään ACE eli Arctic Civil Engineering. Tutkimusryhmä toimii kolmella painoalalla, jotka ovat yhteisiä opetus-toiminnan kanssa: talonrakennustekniikka, talo- ja energiatekniikka sekä infra- ja kaivostekniikka. (Lapin AMK_d, 2015)

ACE-tutkimusryhmällä on tutkimus- ja toimintaympäristöinä käytössä maalämpöpumppujen testauslaboratorio, lämmitystekniikan ja talo- ja energiatekniikan laboratoriot yhdessä rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutuksen kanssa. Tutkimusryhmän keskeisintä osaamista ovat älykkään elinympäristön teknologiat, joita ovat:

Talonrakennustekniikka

- Rakennusten elinkaarimittaristot
- Rakentamisen energiatehokkuus
- Rakentamisen kosteudenhallinta
- Elinkaariajattelu
- Rakentamisen tietomallinnus (BIM)
- Digitaalinen työnkulku
- Rakentamisen laatutyö
- Olosuhdeosaaminen (Lapin AMK_d, 2015)

Talo- ja energiatekniikka

- Rakennusten energiatehokkuus
- Energian mikro- ja pientuotanto
- Rakennusten energianhallintajärjestelmät
- Energian varastointiratkaisut
- Lähienergian tuotanto. (Lapin AMK_d, 2015)

ACE-tutkimusryhmällä on tutkimus- ja toimintaympäristöinä käytössä maalämpöpumppujen testauslaboratorio, lämmitystekniikan ja talo- ja energiatekniikan laboratoriot yhdessä rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutuksen kanssa. Tutkimusryhmän keskeisintä osaamista ovat älykkään elinympäristön teknologiat, joita ovat:

- Rakennusten energiatehokkuus
- Rakennusfysikaalinen osaaminen - mittaukset ja mallinnus
- Älykäs talotekniikka
- Energiantuotanto osaaminen – uusiutuvat energiat kuten bioenergia
- Lumi- ja jäärakentamisen osaaminen
- Lämpöpumppuosaaminen
- Kaivosalan koulutusosaaminen (Kotkansalo & Saari, 2015)

Tutkimusryhmä tekee palveluliiketoimintaa kiinteistöjen energiakatselmoiteihin ja erilaisia räätälöityjä palveluja. (Lapin AMK_d, 2015)

Käytettävyys ja sen mittaus

Käytettävyys on yksi merkittävistä organisaation suorituskykymittareista (KPI, Key Performance Indicator), joilla mitataan kuinka hyvin tavoitteet on saavutettu. Yleisesti sitä käytetään myös yhtenä osatekijänä laskettaessa tuotannon kokonaistehokkuutta KNL (eng. OEE; Overall Equipment Effectiveness), jossa osatekijät ovat siis käytettävyys (K), toiminta-aste (N) ja laatukerroin (L). (PSK6201, 2011)

Standardin PSK6201 mukaan käytettävyys määritellään seuraavasti:

”Käytettävyys on kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla”

Toisaalta luotettavuustarkasteluissa kohteen käytettävyys määritellään todennäköisyytenä kuinka kohde kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon. Standardissa PSK6201, todetaan myös, että käytettävyys riippuu toimintavarmuuden, kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuuden yhteisvaikutuksesta. Yllä olevan määritelmän mukaan käytettävyys ottaa huomioon myös toiminta-asteeseen ja laatukertoiimeen liittyviä häviöitä, mutta pelkästään tunnuslukutarkastelussa käytettävyys on aikakäsite. (PSK6201, 2011)

Käytettävyyttä voidaan käyttää mm. yhden koneen tai tuotantolaitteiden suorituskyvyn mittarointiin. Lisäksi käytettävyyttä, tunnuslukuna, voidaan käyttää tuotantojärjestelmän tai kunnossapidon ohjaukseen ja kehittämiseen. (PSK6201, 2011)

Käytettävyys-tunnusluvun käytöstä kaivosteollisuudessa on otettu kaksi esimerkkiä aiheeseen liittyvistä julkaisuista. Ensimmäinen on Aditya Paridan (2007) julkaisusta, jonka tarkoituksena oli tunnistaa ja kehittää kunnossapidon toiminnan mittareita rautamalmipellettejä tuottavalle LKAB:n (Luossavaara-Kiirunavaara AB) laitokselle. Tutkimuksessa rajattiin kohteeksi pelletointilaitoksen hihnakuljettimet, joita ei aiemmin ollut käsitelty kriittisinä laitteina, eikä niistä näin ollen ollut valmiita kaiken kattavaa analyysiä. Tutkimuksen tarkoituksena oli myös tutkia ja analysoida lyhyitä teollisuuslaitoksen seisokkeja ja suunniteltuja kunnossapidon seisokkeja. Tiivistetysti Parida toteaa, että kunnossapidon toiminnan mittarit tuottavat merkittävää tietoa operatiivisen päätöksenteon tueksi. (Parida, 2007, ss. 325 - 326)

Tutkimuksessa mittaroinnin tarvetta selvitettiin kolmen organisaatiotason näkökulmasta (strateginen johto, keskijohto ja toiminnallinen taso). Lisäksi mittarointi kohdennettiin seitsemään osioon, jotka olivat:

- laitteet prosessissa
- taloudellisuus
- kunnossapito
- koulutus
- asiakastyytyväisyys
- HSE (health, safety, environment)
- työntekijöiden tyytyväisyys.

Tutkimuksen tuloksena ja edellä mainituilla kohdennuksilla Parida ja LKAB:n edustajat päätyivät pelletointilaitokselle yhdeksään toiminnallisen tason mittaria aiempien mittareiden lisäksi. Mittareiksi operatiivisen päätöksenteon tueksi tulivat seuraavat:

- seisokkiaika (downtime; hours)
- vaihtoaika (change over time)
- suunnitellut kunnossapitotehtävät (planned maintenance tasks)
- suunnittelemattomat tehtävät (unplanned tasks)
- uusien ideoiden lukumäärä (number of new ideas generated)
- taitojen ja koulutuksen kehittäminen (skill and improvement training)
- laadun tuotto (quality returned)
- työntekijöiden valitukset (employee complaints) ja
- kunnossapitokustannukset / tonni (maintenance cost per ton). (Parida, 2007, s. 335)

Toisessa, Lanken, Hoseinie ja Ghodratin (2014), tutkimuksessa tarkoituksena oli modifioida OEE-lukua kaivostoimintaan, painottamalla sen elementtejä paremmin soveltuviksi. Uuden tunnusluvun tutkijat nimesivät kaivostuotannon indeksiksi MPi (Mine Production index). Kyseisessä tutkimuksessa ja sen erikoissovelluksena saatiin uusi tunnusluku MPi_{shovel} eli suomeksi MPi_{kauha} . Kyseinen tunnusluku tuottaa, tutkimuksen mukaan, tietoa kauhan tuotannollisesta tehokkuudesta. Tunnusluvun soveltuvuuden toteaminen tehtiin case-tutkimuksena eräässä ruotsalaisessa kaivoksessa. Varsinaisena kohteena oli neljä sähkötoimista ja yksi hydraulikkatoiminen kauha.

Tulokset osoittivat, että MPi_{kauha} -tunnusluvulla voidaan arvioida kauhojen tuotanto tehokkuutta ja määritellä tehokkuusarvot todellisimmiksi kuin verrattuna OEE-laskentatapaan. Tutkimuksen mukaan MPi –laskentaa ei pelkästään käytetä ilmaisemaan tehokkuutta, vaan sen avulla voidaan myös tehdä ennakkointia mihin elementteihin pitää keskittyä parantaakseen tuottavuutta.

Uudella tunnusluvulla pystytään siis kuvaamaan paremmin kauhan tehokkuutta ja saadaan lisää tietoa operatiivisen päätöksenteon parantamiseksi. Seuraavassa ote päätuloksista ja muista löydöksistä kyseisen tutkimuksen pohjalta:

- OEE:n käyttämistä kaivossovelluksien kokonaistehokkuuden mittarina on ongelmallista, sitä tarvitsee muuttaa ja tehdä painotuksia eri OEE:n elementteihin.
- Ehdotetut painotukset MPi:ssä kohdistuvat eri tavoin verrattuna OEE-laskentaan.
- MPi antaa todellisemman tehokkuusarvion verrattuna OEE:hen.
- MPi laskentaa ei pelkästään käytetä tehokkuuden laskentaan, vaan sillä voidaan tehdä ennakkointia mihin elementteihin pitää keskittyä parantaakseen tuottavuutta.
- Case-tutkimus osoitti, että uusi kehitetty MPi-indeksi on käyttökelpoinen kauhan kokonaistuottavuuden arvioinnissa. Jatkotutkimuksissa kehitettävät erikois-MPi:t sisältävät tarkempia ja kohdennettuja painotuksia, joita voidaan käyttää yksilöllisemmin eri kaivoskoneille, kuten esimerkiksi kuorma-autoille, puskutraktoreille ja murskaimille jne.

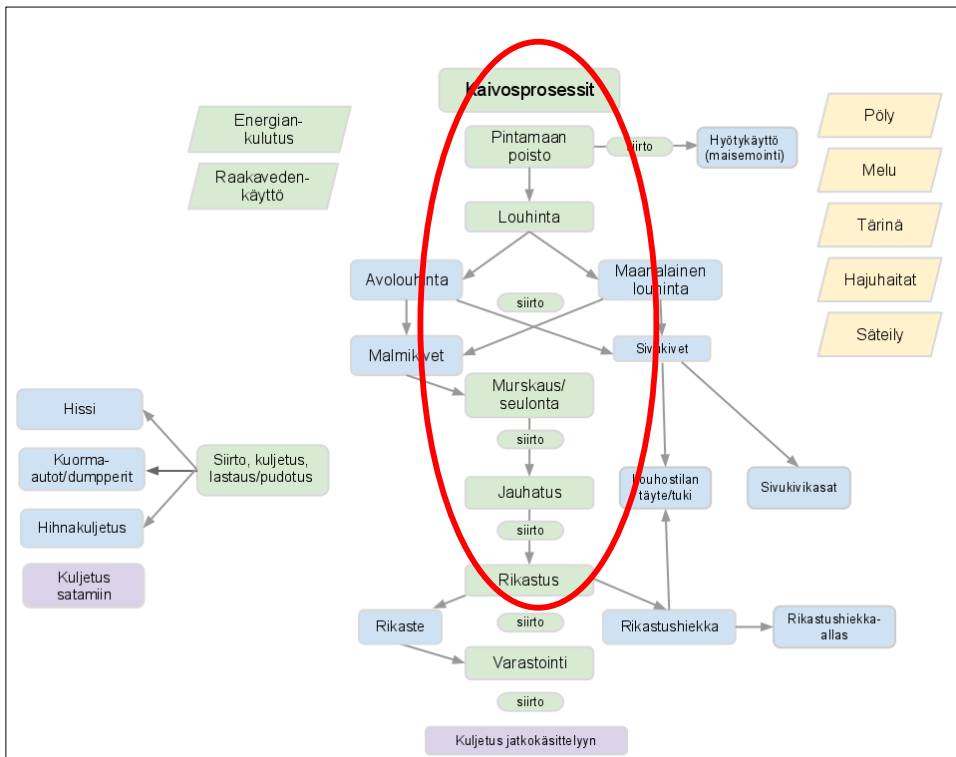
(Lanke;Hoseinie;& Ghodrati, 2014)

Lapin AMK: O&M-tutkimusryhmä on tutkinut ja tutkii edelleen teollisuuden kunnossapidon liittyviä tunnuslukuja. Haasteena on kaivoksiin liittyvien tunnuslukujen määrittäminen ja soveltaminen.

Kaivostoiminta

Kaivannaisteollisuudella on suora merkitys Suomen kansantalouteen kolme prosenttiyksikköä. Kaivannaisteollisuus tuottaa teollisuusyrityksille ja rakennussektorille raaka-aineita. (Hakapää & Lappalainen, 2008) Työ ja elinkeinoministeriön sivujen mukaan vuonna 2013 Suomessa oli toiminnassa 46 kaivoslain alaista kaivosta ja louhosta. Metallimalmien louhinta on edelleen kasvanut, kun uusien kaivosten tuotanto on vakiintunut. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2015)

Kuvassa 1 on kuvattuna kaivosprosessit (Opasnet, 2014), joista ympyröitynä tässä raportissa kohteena olevat prosessinosat. Näitä tarkastellaan käytettävyyden tehostamisen näkökulmasta kaivosten ylösajojen jälkeisissä toimissa.



Kuva 1. Kaivosprosessit, joita tarkastellaan käytettävyyden tehostamisen näkökulmasta.

LOUHINTA

Mineraalien ja alkuaineiden tuotanto alkaa malmin louhinnalla. Sivukiveä on louhittava, jotta malmiaines saadaan erilleen. Suomessa kiviaines on kovaa, joten louhinnassa tarvitaan räjäyttämistä ja siihen liittyvää poraamista. (Opasnet, 2014)

Louhintamenetelmiä ovat avo- ja maanalainen louhinta. Perinteisessä avolouhinnassa menetelmänä käytetään usein räjäyttämällä suoritettavaa pengerlouhintaa. Työvaiheina ovat: irrotus (yhteisnimitys poraukselle ja räjäytykselle), rikotus sekä louheen lastaus ja kuljetus. Maanalaisen malmin louhintamenetelmät voidaan luokitella poraus-räjäytysmenetelmään mukaan kolmeen päätyyppiin tukemistarpeen mukaan avoimeen-, täyttö- ja sorrosmenetelmään. Avoimessa menetelmässä ovat seuraavat louhintatavat: pilarilouhinta välitasolouhinta ja pengerlouhinta. Näistä viimeisin eli poikittainen pengerlouhinta on käytössä Kemin- ja Pyhäsalmen kaivoksilla. Täyttömenetelmässä on kolme menetelmää: makasiini-, lyhytreikättäyttö- ja pengertäyttölouhinta. Sorrosmenetelmässä on kaksi louhintamenetelmää eli levy-sorros- ja lohkosorroslouhinta. (Hakapää & Lappalainen, 2008, ss. 92-102)

Poraus on louhintaprosessin ensimmäinen vaihe. Kallioporauksen periaatteena on tehdä reikiä kallioperään kivien irrottamista, kallioperän tutkimista tai injektioimista varten. Olemassa olevia menetelmiä ovat: iskuporaus, murskaava kiertoporaus, leikkaava kiertoporaus ja hiertävä kiertoporaus. Kallioperän porattavuudella tarkoitetaan niitä kivilaji- ja kallioperäominaisuuksia, jotka vaikuttavat porausnopeuteen ja poranterän kulumiseen. (Hakapää & Lappalainen, 2008, ss. 137-145)

Porauslaitteisto

Raportissaan (Hussan A.-C. S.;Lundberg;Wijaya;& Ghodrati, 2014) olivat tutkineet ja analysoineet kaivosten porauskalustoa niiden luotettavuuden ja kunnossapidettävyyden näkökulmasta. Myös mm. (Cutifani;Quinn;& Gurgenci, 1996) ja (Gustafson;Schunnesson;Galar;& Kumar, 2013) toteavat, omissa tutkimuksissaan, että 30–65 % kaivoksen kokonaiskustannuksista tyypillisesti aiheutuu kunnossapidosta. Yhden ruotsalaisen kaivoksen historiadataa analysoitaessa he havaitsivat, että 15 % suunnittelematommista tuotannon keskeytyksistä johtuu nimenomaan porauskalustosta.

Gustafson, Schunnesson, Galar ja Kumar tutkijaryhmän tutkimuksen tavoitteina olivat:

- analysoida useiden porauslaitteiden luotettavuutta ja seisokkiaikaa löytääkseen ne syyt, jotka alhaalla oloajan aiheuttivat
- tarkentaakseen, mitkä strategiat toimisivat porauskaluston alhaalla oloaikaa vähentäen; kunnossapidettävyyden suunnittelu (DFR, design for maintainability) vai luotettavuuden suunnittelu (design for reliability)
- esittääkseen parannuksia niihin komponentteihin, jotka alhaalla oloajan aiheuttivat.

Lapin AMKin O&M tutkimusryhmä; Tutkimuksen sisältöä voidaan verrata Lapin kaivosten vastaavaan dataan tai jos sitä ei ole, niin hankkeistamalla kerätä sitä ja suorittaa ristiinanalysointia.

Luulajan Teknisessä Yliopistossa tutkijat (Hussan A.-C. ;Lundberg;Alireza ;& Jons-son, 2015) mallinsivat porausyksikön elinkaaren (LCC) mukaisia kustannuksia. Tutkimuksessa huomioitiin myös hankintahinnan ja jälleenmyyntihinnan vaikutusta kokonaiskannattavuuteen. Tutkimuksessa esitettiin eräs optimointimalli ko. laitteis-
ton jälleen hankinnan laskemiseksi.

Lapin AMKilla on mahdollista tehdä soveltavaa jatkotutkimusta kyseisten tai vastaavien kaivoslaitteiden elinkaaren aikaisista kannattavuustekijöistä ja edelleen soveltaen tutkimuksen kohdistuessa laitteisiin arktisissa olosuhteissa.

LASTAUS JA KULJETUS

Kaivoksella sopiva lastaus- ja kuljetuskalusto valitaan ennen muuta tuotannon mit-takaavan ja paikallisten olosuhteiden mukaan. Lastauskoneina toimivat kuokkakai-vinkoneet tai suuret pyöräkuormaajat. Kuljetus- ja lastauskaluston koko ja lukumäärä vaihtelevat tuotannon mittakaavan sekä ajomatkan pituuden mukaan. (Hakapää & Lappalainen, 2008, ss. 95-96)

Lastauskalustona avolouhinnassa käytetään pääasiassa pyöräkuormaajaa ja hyd-raulista kaivinkonetta. Lastauskoneen valinta riippuu lastattavasta materiaalista, rä-jäytyskasan muodosta ja operaation suuruudesta. Avolouhinnan kuljetuskalusto ja-kautuu kolmeen pääryhmään: kuorma-autot, runko-ohjatut dumperit ja louhosau-tot. Lyhyellä matkalla voidaan käyttää pyöräkuormaajia. (Hakapää & Lappalainen, 2008, ss. 184-187)

Maanalainen tuotantolastaus valitaan louhintamenetelmän, kaivoksen yleisen ra-kenteen ja käytettävän tekniikan tason perusteella. Maanalaisessa kuljetuksessa tyy-pillisiä kuljetusjärjestelmiä ovat kuorma-autot, hihnakuljettimet ja junat. Valittaessa kuljetusjärjestelmää siihen vaikuttavat: kuljetusmatka (pituus ja reitin vaihtelevuus), materiaalin määrä ja laatu sekä kaltevuus. (Hakapää & Lappalainen, 2008, ss. 192-195)

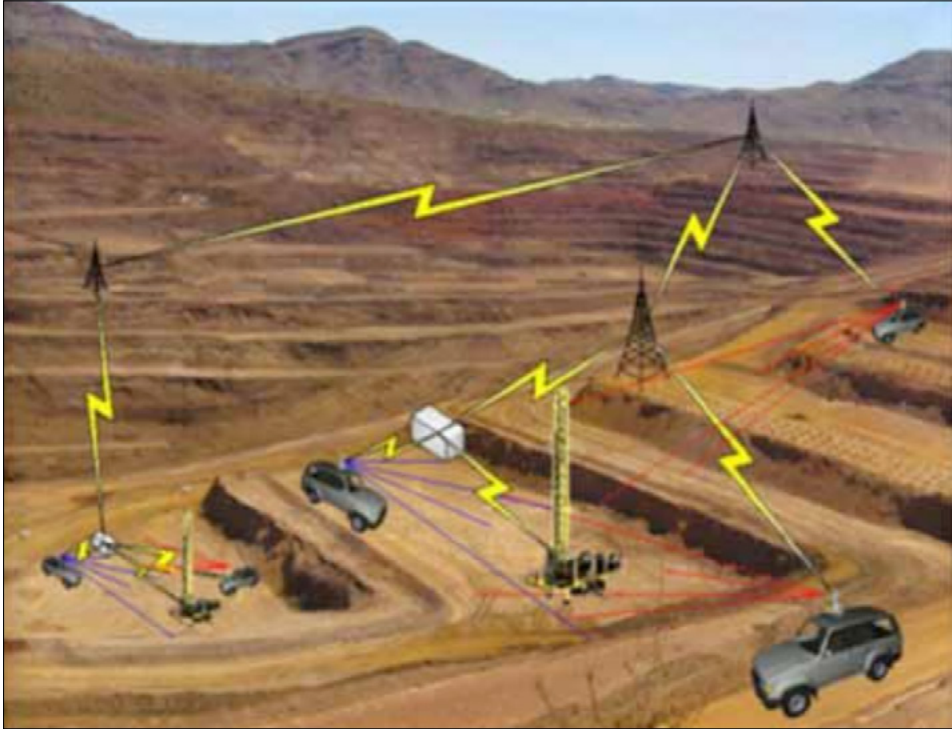
Autonomiset toiminnot

Lastaus tapahtui 1970-luvul-la, kuvan 2 mukaisesti. Esi-tysmateriaalista (McGagh, 2012) käy ilmi, että kehitys-tyo autonomisiin toimintoi-hin kaivoksilla on käynnis-tynyt.



Kuva 2. Lastausta 1970 -luvulla (McGagh, 2012)

Rio Tinton avolouhoksella on jo vuonna 2012 ollut käytössä integroitu ja lähes reaaliaikainen tieto, joka on McGaghin mukaan parantanut kaivoksen tuottavuutta ja kannattavuutta sekä päätöksentekoa. Tiedon avulla tuotannon ennustettavuus on kohonnut myös (kuva 3). Kaivoksen tavoitteena on merkittävästi lisätä autonomisia liikkuvan kaluston laitteita kuluvan vuosikymmenen aikana (McGagh, 2012)



Kuva 3. Havainnekuva Rio Tinton avolouhoksen autonomisesta ja verkottuneesta kalustosta 2012. (McGagh, 2012)

Lapin AMKin O&M, OML ja AP tutkimusryhmät: Lapin AMKilla on rooli tehdä selvityksiä autonomisista laitteista ja niiden soveltuvuudesta arktisiin olosuhteisiin.

Nebot kertoo tutkimuksessaan (2007) ”Surface Mining: Main Research issues for Autonomous Operations” tärkeimmistä haasteista autonomiseen toimintaan avolouhoksella. Nebotin mukaan kaivosten toiminta sijaitsee usein syrjäisillä alueella, sinne saatava henkilökunta on usein kallista. Lisäksi malmiesiintymät ovat paljon pienempiä ja siten kaivosten elinkaareen perustuen uusia kaupunkeja ei kaivosten läheisyyteen perusteta. Edellä mainitun ratkaisuksi on kehitteillä robotiikka automaatiota. Automatisoidut ja autonomiset järjestelmät ovat yhä enemmän lisääntymässä. Yksinkertaisimmillaan tällaiset järjestelmät toimivat lisänä miehitetyille ajoneuvoille, joissa on jo esim. paikannustieto ja törmäyksen varoitus. Hieman pidemmälle vietyinä esim. automatisoituja koneita kuljetukseen, kaivamiseen ja lastaukseen on jo otettu käyttöön ainakin maanalaisessa kaivostoiminnassa. Useita onnistuneita automaatio alueita

ovat mm. raidekuljetus, prosessiohjaus sovellukset, kuljetinjärjestelmät sekä maan-alainen poraus. (Nebot, 2007)

On arvioitu, että malmin kuljetuskustannusten osuus on avolouhoksen liiketoiminnan kuluista noin 40 - 50 %. Erityyppisillä koneilla malmi lastataan ja kuljetetaan teitä/kuljetusreittejä pitkin murskalle. Ympäristötekijät asettavat vaatimuksia teiden suhteen. Niiden suunnittelu (esim. kaltevuus) ja kunto ovat merkittäviä tekijöitä hyvien ajo-olosuhteiden takaamiseksi, olkoonkin sitten kyse miehitetystä tai miehittämättömästä ajoneuvolla ajamisesta. (Nebot, 2007)

Lapin AMK: Nebotin raporttiin pohjautuen, Lapin AMKissa osaamista on rakennuspuolella (ACE), optisen mittaustekniikan laboratoriollla ja käynnissäpito ryhmällä, ottaen huomioon arktiset olosuhteet.

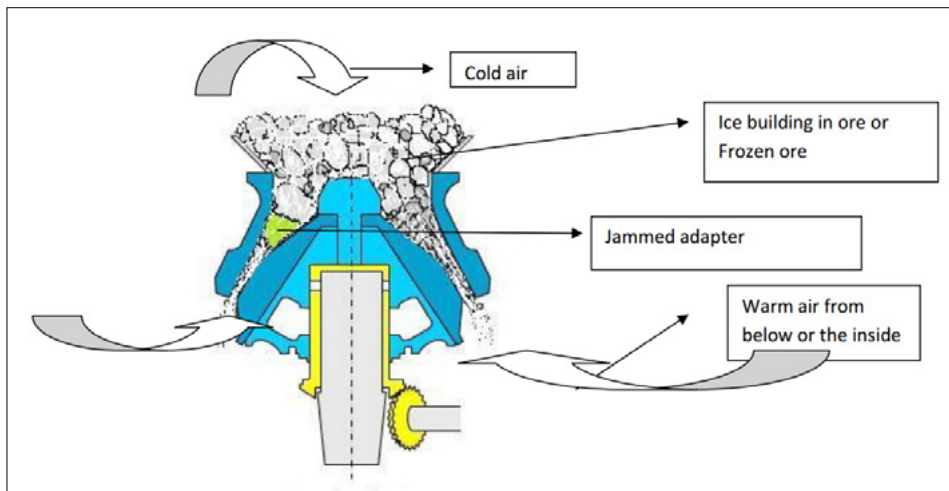
Kaivinkoneen kauhan hampaiden seuranta

Jos kaivoksen kaivinkoneen puuttuva kauhan hammas päätyy liukuhihnalle tai kartiomurskaimeen, se saattaa aiheuttaa kalliitta seisokkeja, koska mm. hammas voi juuttua murskaan tai muihin prosessilaitteisiin. Juutuessaan se voi myös sinkoutua ympäristöön, aiheuttaen vaaratilanteen. Suunnittelemattomia seisokkeja voidaan välttää seuraamalla hampaiden kulumista ja havaitsemalla kauhasta puuttuva hammas (Motion Metric news, 2014). Kuvassa 4 on esimerkki kaivinkoneen kauhasta, joissa on vaihdettavat hampaat. Yksi hammas tai adapteri painavat uutena n. 450 kg voiden aiheuttaa vaurioita kartiomurskassa. (Mwagalanyi, 2008, s. 14).

Kaivinkoneen kauhan hampaiden muutosten havainnointiin on kehitelty kamera-teknikkaan perustuva menetelmä, jonka avulla saadaan analysoitua kauhan hampaiden kulumisen tai puuttuminen. Järjestelmä hälyttää puuttuvasta hampaasta äänellä ja visuaalisesti. Edellä mainittua tekniikkaa on olemassa ja käytössä sekä kaupallisesti saatavissa (Motion Metric news, 2014).



Kuva 4. Esimerkkikuva kaivinkoneen kauhasta, jossa vaihdettavat kauhan hampaat. (Hyvinkään Tieliuskka Oy, 2015)



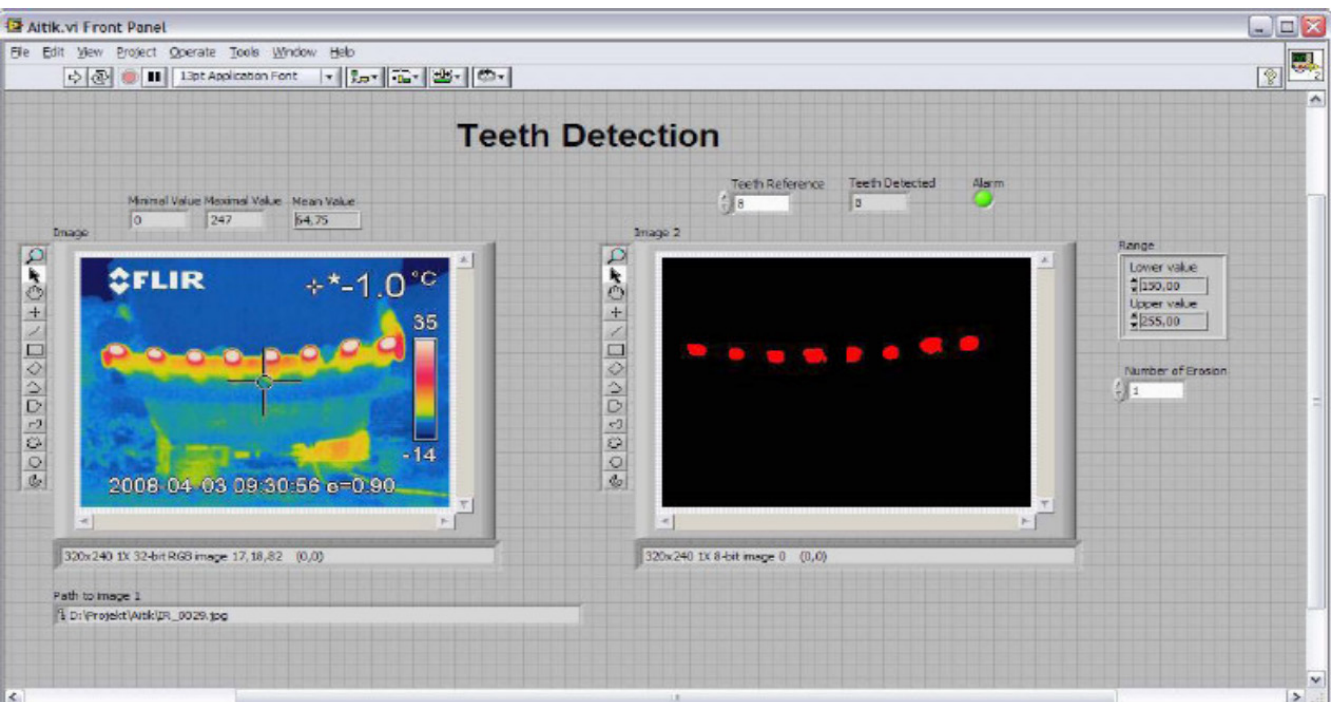
Kuva 5. Havainnekuva kartiomurskassa olevasta tukoksesta ja jäätyneestä malmista. (Mwagalanyi, 2008, s. 18)

”Kaivinkoneen kauhan hampaiden puuttuminen” aiheesta Luulajan teknillisen yliopiston opiskelija, Mwagalanyi on tehnyt vuonna 2008 tutkimusta Jällivaarassa Bolide-nin Aitiki kuparikaivoksella. Tutkimuksen mukaan kalliita tuotantokatkoksia kaivokselle aiheuttivat hampaista aiheutuneet vahingot murskalle. Kuvassa 5 on havainnollisesti esitetty kartiomurskaimen tukkeuma, joka johtuu kauhasta irronneen osan vuoksi. Alhaaltapäin tuleva lämmin, kostea ilma ja jääkylmä malmi tukkivat murskainta vielä enemmän. (Mwagalanyi, 2008, s. 17)

Aitikin kaivoksella vuosina 2007 - 2008, kahden kaivinkoneen kauhojen korjauskustannuksista 72 % oli suunniteltuja hampaiden vaihtoja ja 28 % aiheutui äkillisesti irronneista hampaista tai adaptereista. Alla olevassa taulukossa 1 on esimerkkinä vuoden ajalta tuotannonmenetys yhtä murskainta tarkastellessa. (Mwagalanyi, 2008, s. 134)

Taulukko 1. Jumittuneista kauhan hampaista aiheutuneet seisokit ja korjauskustannukset kaivokselle vuoden aikana

Yhden murskaimen vuotuiset seisokit ja niihin liittyvät taloudelliset menetykset.		
seisokkien lukumäärä	9	kpl
pysähtyneenä oloaika	324	h
materiaalinen tuotannon menetys	166 438	tn
Tuotannon menetys	2 385 148	€
Korjauskustannukset (sis. traktori, kaivinkone, työntekijät ja räjäytysmateriaali)	134 912	€
vahingoittuneen laitoksen korjauskustannukset	108 155	€
Korjauskustannukset yhteensä	243 067	€



Kuva 6. Infrapuna-järjestelmällä kuvattu kauha, jossa kaikki hampaat tallella.
(Mwagalanyi, 2008)

Mwagalanyin insinööritoimistossa oli etsitty keinoja ehkäistä tai pysäyttää kauhan hampaiden päätyminen kartiomurskaimeen käyttäen apuna infrapuna-tunnistusjärjestelmää, joka lukee kauhan profiilin joka lastuskerralla (kuva 6). (Mwagalanyi, 2008, s. 19)

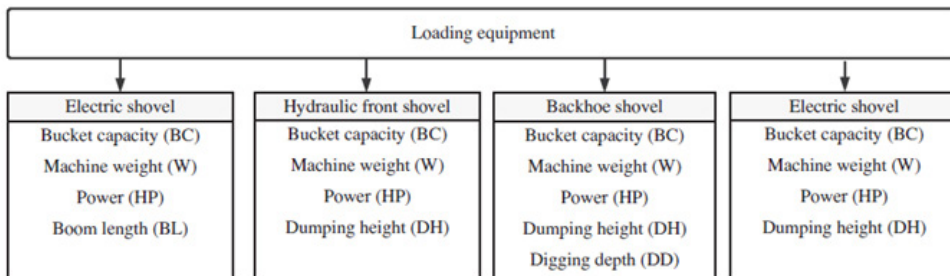
Lapin AMKin O&M, OML ja ASM tutkimusryhmät: Tutkimusta kuvattuun havainnointimenetelmään voidaan suorittaa Lapin AMKin toimesta erityisesti huomioiden arktiset olosuhteet.

Kauhan kulumista on tutkittu myös Intiassa vuonna 2015 (Mayukh Sarkar et al.) tehdyssä julkaisussa. Perusteluna tutkimukselle on tyypillinen käyttöajan nostaminen huoltoseisokkeja vähentämällä. Tutkimuksessa käsitellään autogeenistä suojausta, jota käytetään muun muassa dumpperien lavoissa ja kauhojen pohjassa. Autogeenisessä suojauksessa materiaalin suunnitellaan kasautuvan abrasiivisen kulumisen kannalta kriittisempään kohtaan ja tällöin muodostavan suojauksen. Etuna on, ettei prosessiin kulkeudu muista suojausmenetelmistä mahdollisesti irtoavia ylimääräisiä partikkeleita. (Huoso, 2010)

Lapin AMKin ASM ja OML tutkimusryhmät: Kulumistutkimuksia voidaan suorittaa Lapin AMKin toimesta.

Kunnossapidon kustannusten optimointi

Käyttäen kahta tilastollista menetelmää (Univariate exponential regression, UER ja multivariate linear regression, MLR) tutkijat (Lashgari & Sayadi, 2013) mallinsivat sekä käyttivät vertailuna todellista dataa päätyen uuteen tapaan määritellä kunnossapidon ja huollon kustannuksia avolouhoksen lastauslaitteille (sähkö- ja hydraulikäyttöiset kauha- sekä pyöräkuormaajat). Alla olevassa kaaviossa (kuva 7) on kuvattuna tutkimuksessa käytettyjä muuttujia. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että voidaan ennakoida erilaisten kaivoksissa käytettävien laitteiden kustannusten jakautuminen elinkaarensa aikana.



Kuva 7. Tutkimuksessa käytetyt muuttujat laitekohtaisesti

Lapin AMK O&M: Tutkimusta voidaan hyödyntää sellaisenaan tai soveltaen jatkotutkimuksena arktisten olosuhteiden vaikutusta todennettuun lopputulokseen.

Laitteiden monitorointi ja käyttöliittymä

Australialaisessa tutkimuksessa tutkijat (Mark Connolly, Andrew Jessetta, 2014) raportoivat seuraavia etuja laaja-alaisesta kaivostoiminnan materiaalin eri nostoon liittyvien laitteiden monitoroinnista:

- parempaa yhteistyötä työntekijöiden ja toimipisteiden välillä
- parempaa standardointia, ohjeistusta ja tarkkuuta eri toiminnoissa
- nopeampia vasteaikoja eri ongelmatilanteille
- parempaa resurssien käyttöönottoa yritykselle
- hyvien käytäntöjen parempaa hyödyntämistä
- pienempiä kustannuksia ja kehittyneempää taloutta, turvallisuutta ja ympäristöystävällisempää toimintaa

Kuvassa 8 esitetään monitoroinnin pohjalta luodusta datasta käyttöliittymä, joka sijaitsee erityisessä keskitetyssä valvomossa, usein varsin etäällä todellisesta toimintaympäristöstään.



Kuva 8. Esimerkki luodusta käyttöliittymästä

Lapin AMKilla on osaamista erilaisten ympäristöjen rakentamisessa ja se on ollut mukana sellaisten ympäristöjen rakentamisessa, joissa kyseisen tyyppistä toimintaa voisi harjoittaa. Ottamalla huomioon arktiset olosuhteet ja mahdollisesti myös maanalainen toiminta, hankkeistamiselle voisi olla tilaus.

LHD-ajoneuvot

Load Haul Dumper (LHD) ajoneuvoja käytetään maanalaisissa kaivoksissa lastaamaan ja kuljettamaan malmia ja mineraaleja. Ne voivat olla manuaalisesti tai automaattisesti ohjattuja. Operaattori voi ohjata yhtä aikaa kolmea LHD:tä, joka lisää tuottavuutta ja henkilöstön turvallisuutta. Automaation hyötyjen maksimoimiseksi pitäisi parantaa kunnossapitoa, jotta operaattorien työskentely sujuisi jouhevasti eikä syntyisi suunnittelemattomia seisokkeja. (Gustafson, 2013)

LHD:t käyttävät paikannukseen lähettimenä 2D-laseria ennalta määrätyllä polulla ja vastaanottimena heijastavia merkkejä tunnelissa (absoluuttinen navigointi). Toisella navigointitekniikalla määritellään ajoneuvon paikka ennalta määrätyllä polulla ja sen etäisyys kaivostunneleista ja ympäristöstä (reaktiivinen navigointi).

Sandvik on asentanut LHD ajoneuvoihinsa useita järjestelmiä, jotta niille tehtävä huolto olisi mahdollisimman turvallista. Ajoneuvojen kunnossapidettävyyttä on parannettu ja automaattisesti toimivien laitteiden käytettävyyttä on lisätty seuraavilla keinoilla:

- Ajoneuvojen jäähdytystä on parannettu, jotta ne toimisivat paremmin korkeissa ympäristö lämpötiloissa. Jäähdytyksellä varmistetaan komponenttien pidempi elinikä.

- Hydraulikkajärjestelmän alentunut kuluminen ja parantunut luotettavuus on varmistettu käyttämällä lastauksentunnistus hydraulikkaa, joka kuljettaa öljyä oikealla paineella ja vain silloin kun eri komponentit sitä tarvitsevat.
- Lastauksentunnistus hydraulikkajärjestelmän avulla saavutetaan pienempi polttoainekulutus.
- Päähydraulikkaöljy pidetään puhtaana ja öljynvaihtoväliä on kasvatettu käyttämällä erillistä säiliötä jarrujen jäähdytykseen.
- Sandvikin ”Ground Engaging Tool” (GET) järjestelmä mahdollistaa nopean pulttien kulutusosien uusimisen, irrottamatta koko kauhaa. (Gustafson, 2013, ss. 31-32)

Myöhään 1980-luvulla LKAB:llä Kiirunassa tutkittiin LHD:tä. Vikadataa kerättiin 19 LHD:lta vuoden ajalta, mutta laajan datamäärän vuoksi tarkempiin tutkimuksiin valittiin kolme konetta. Vikaantumisvälin laskemiseksi LHD ajoneuvot jaettiin seuraaviin alijärjestelmiin: moottori, jarrut, hydraulikka ja voimansiirto. Luotettavuuden näkökulmasta kaksi kriittisintä alijärjestelmää olivat hydraulikka ja moottori. (Gustafson, 2013, s. 32)

Eräs tapaustutkimus osoitti että, vikoja esiintyi LHD:n akseleissa paljon oletettua aikaisemmin, kun otetaan huomioon käyttötunnit. Tulokset osoittivat, etteivät viat johtuneet komponenttien vioittumisesta tai niiden puutteista, vaan voiteluaineen sopimattomuudesta ilmasto-olosuhteisiin. (Gustafson, 2013, s. 32)

Lapin AMK O&M, OML ja AP: Edellä esitettyjen ongelmien ratkaisuihin tutkimusryhmiltä löytyy osaamista. Esimerkiksi kriittisten vikojen tunnistaminen, juurisyyanalyysit ja ehkäisevät toimenpiteet ovat O&M tiimin osaamista. Optiseen mittauksiin perustuvaan paikannukseen löytyy osaamista OML:stä. Osaamista tuotteiden ja teknologioiden testaamiseen arktisissa olosuhteissa löytyy AP-laboratoriosta.

Hihnakuljetin

Brasiliassa 2008 ilmestyneessä raportissa (Claudio Goncalves de Oliveira; Gilmar dos Santos Mascarenhas, 2008) yhdistyy hihnakuljettimen kunnossapidettävyys ja siihen liittyen merkittävästi kulutuslevyjen kesto. Raportista käy ilmi, että tuotannon seisaukset ovat merkittävä kustannus. Raportin mukaan kyseisellä kaivoksella aiheutuu vuodessa noin 700 tunnin edestä seisokkeja kulutuslevyjen vaihdon takia. Vähentyneellä vaihtotyöllä parannetaan myös työntekijöiden kokonaisvaltaista turvallisuutta.

Lapin AMK O&M, OML ja ASM: Ryhmille tässä voi olla eräs potentiaalinen hankeaihio erityisesti ottaen huomioon arktiset olosuhteet. O&M ryhmällä on osaamista kuljettimen käyttöliittymään, jolla voidaan parantaa kuljettimen turvallisuutta ja käytettävyyttä. OML tiimillä on kuljettimen kunnonvalvontaan liittyviä ratkaisuja esimerkiksi hihnan kunnon valvontaan. Lisäksi osaamista löytyy koneensuunnittelun osalta. Lapin AMK:n ASM-ryhmän toimesta on tehty hankkeiden kautta useita erilaisia tutkimuksia kaivoksissa esiintyviin kulumisongelmiin liittyen vuodesta 2012 alkaen.

Rikastus

Mineralogisen tutkimuksen tulokset palvelevat ensisijaisesti malmiesiintymän rikastettavuustutkimuksia optimaalisen rikastusmenetelmän valitsemiseksi ja rikastusprosessin optimoimiseksi. (Hakapää & Lappalainen, Kaivos- ja louhintatekniikka, 2008, s. 38) Rikastus on monivaiheinen prosessi ja rikastusmenetelmät vaihtelevat louhittavan malmin mukaan. Rikastusmenetelmät varmistavat mineraalin korkean pitoisuuden, jotta se olisi mahdollisimman jatkojalostettavassa muodossa. Mineraalien rikastuksen päämenetelmiä ovat vaahdotus, magneettinen rikastus, tiheyseroihin perustuva menetelmä, sähköstaattinen menetelmä, poiminta ja hydrometallurgiset menetelmät, liuotus ja saostus. Rikastamoiden tärkeimpinä tehtävinä on seurata arvomineraalien saantia, -pitoisuutta ja rikasteen määrää. (GTK, 2015) Tämä kappale käsittää rikastusprosessin vaiheet; murskaus, seulonta, jauhatus ja palarikastus.

MURSKAUS

Kaivosteollisuudessa louhe murskataan, jotta kappalekoko olisi sopiva jatkojalostusprosessiin, useimmiten jauhatukseen. Louheen käsittely esimerkiksi hihnakuljetus ja nosto voivat vaatia myös esimurskauksen. (Hakapää & Lappalainen, Kaivos- ja louhintatekniikka, 2008, s. 197)

Kaivos- ja louhintatekniikka kirjan (2008) mukaan kivi kannattaa räjäyttää mahdollisimman pieneksi, sillä teorian mukaan räjäytys on halvempi tapa rikkoa kiveä kuin murskaus. Murskaus taas on puolestaan halvempaa kuin jauhatus. Joskus louhinnan päämäärä ei kuitenkaan ole särkeä kiveä mahdollisimman pieneksi, vaan kivi pyritään räjäyttämään siten, että hienoineksen määrä minimoituisi, mutta lohkokoko olisi muutoin sopiva. Tämä on tilanne esimerkiksi silloin, kun kiven jatkokäsittelyssä käytetään esirikastusmenetelmänä optista lajittelua. Tällöin kiveä ei pyritäkään saamaan mahdollisimman hienoksi, sillä optiset, väriarvoihin perustuvat lajitelijat ovat tehokkaimmillaan kivikokoalueella 15–250 millimetriä ja tätä hienomman aineksen lajittelu ei ole teollisessa mittakaavassa järkevää. (Hakapää & Lappalainen, Kaivos- ja louhintatekniikka, 2008, s. 95)

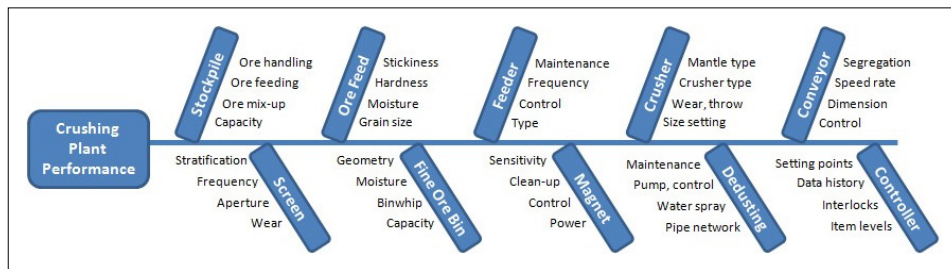
Kiven murskaus tapahtuu joko puristamalla tai iskulla. Puristumurskauksessa kivi murskautuu kahden metallipinnan välissä, jotka puristavat kiveä, kunnes se murtuu. Iskumurskauksessa nopeasti pyörivä vasara hajottaa kiven iskuillaan. Sopiva menetelmä riippuu kivityypistä. Yleisesti kova kivi murskataan puristamalla ja peh-

meä kivi iskulla, mutta poikkeuksia löytyy. Iskumurskaimia käytetään myös kovaa kiveä murskattaessa, kun halutaan kuutionmallinen lopputuote. Murskauksessa louheen kappalekoko pienenee halkaisijaltaan jopa noin 1 m kokoisista kappaleista noin 1 cm kappaleisiin. Murskaus tapahtuu tavallisesti 2–3 vaiheessa ennen kuin haluttu kappalekoko saavutetaan, koska yhdessä vaiheessa murskaussuhde (syöttökoko jaetuna lopputuotteen koolla) on rajoittunut, noin 6:1. (Hakapää & Lappalainen, Kaivos- ja louhintatekniikka, 2008, s. 198)

Samaisessa kirjassa varoitellaan, ettei lastausta, tasokuljetusta, pystykuljetusta (nousut ja kuilut) ja murskausta saa suunnitella toisistaan riippumattomina, koska ne liittyvät tiiviisti toisiinsa. (Hakapää & Lappalainen, Kaivos- ja louhintatekniikka, 2008, s. 183)

Murskauksen toimintakyky

Kivi murskataan kahdessa tai kolmessa eri vaiheessa, jotka ovat esi-, väli- ja hienomurskaus. Murskausprosessiin liitetään usein myös yksi tai useampi seulontavaihe erikokoisten lajikkeiden erottelun vuoksi. (Opasnet, 2014, s. 198)



Kuva 9. Syy ja seuraus kaavio murskauksen suoritusarvoihin vaikuttavista tekijöistä (Yilmaz E. , 2014)

Kuvassa 9 on esitettynä tekijät, jotka voivat vaikuttaa malmin murskausprosessin toimintakykyyn. Murskauslaitoksen toimintaan vaikuttavat kolme tekijää; malmin ominaisuudet, laitteet ja niiden käyttö. Kun tarkkaillaan murskauslaitoksen toimintakykyä, operaattorin täytyy huomioida edellä mainitut kolme tekijää yhtä aikaa, joista yksikin tekijä saattaa suuressa määrin muuttaa lopputuotteen laatua. (Yilmaz E. , 2013)

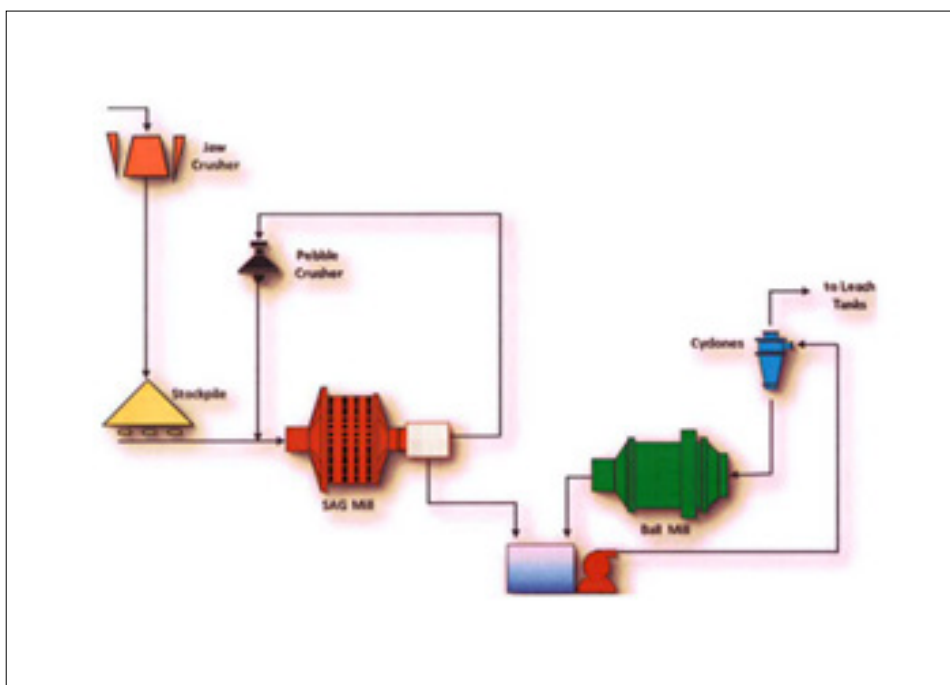
Tutkimukseensa pohjaten Yilmaz on päätenyt seuraaviin johtopäätöksiin, jotka vaikuttavat murskauslaitoksen toimintaan merkittävästi:

- Murskaimen asetuksilla on johtava rooli tuotteen laadun saavuttamisessa.
- Optimaalinen malmisekoitus alentaa tuntuvasti korjaavan kunnossapidon ja ennakkohuollon tarvetta, jolloin saavutetaan myös toiminnan korkeampi käytettävyyys.
- Malmista lajitellaan sivukiveä sisältävä aines mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jolloin se lisää tuotantolaitoksen tehokkuutta. (Yilmaz E. , 2013, s. 341)

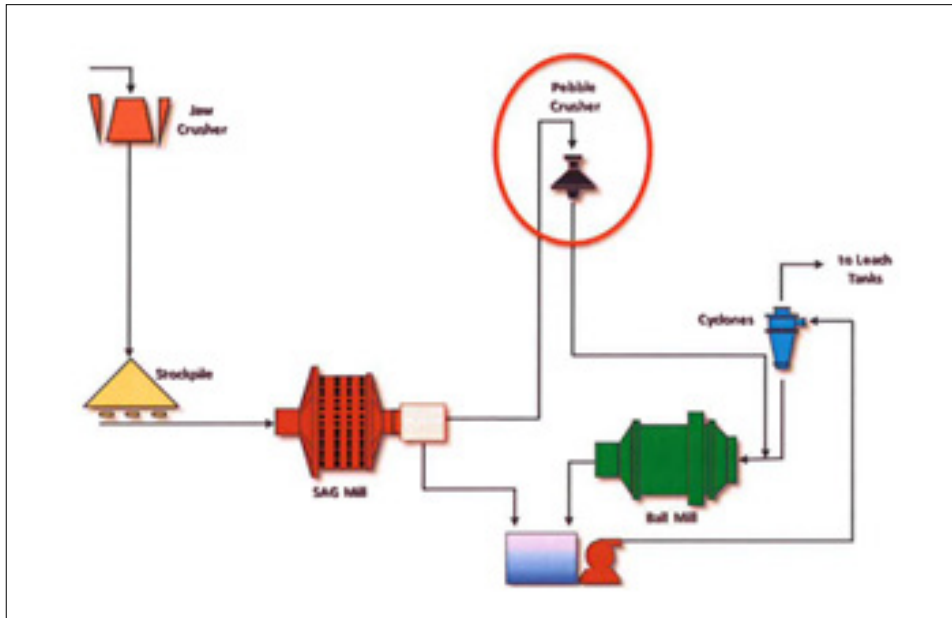
Murskauksen prosessioptimointi

Murskaukseen liittyvää prosessioptimointia tutkineet (Dance;Atheis;Williams;& Taplin, 2014) selvittivät alla olevien kaavioiden (kuvat 10, 11 ja 12) mukaiset prosessit selvittääkseen tuotoksen laadullisen parannuksen perinteiseen prosessiin verrattuna. Tutkimus koski Australian Perthissä sijaitsevaa ”Edna May” avolouhos kultakaivosta.

Kuvassa 10 on esitettyä alkuperäinen murskausprosessi, jolla pystyttiin tuottamaan 340 tonnia tunnissa. Oksidimalmi kuitenkin köyhtyi ja kovemmalla malmilla tuotanto laski 260 tonniin tunnissa. Siksi kaivoksen piti löytää ratkaisu, miten suoritustehoa saataisiin parannettua.

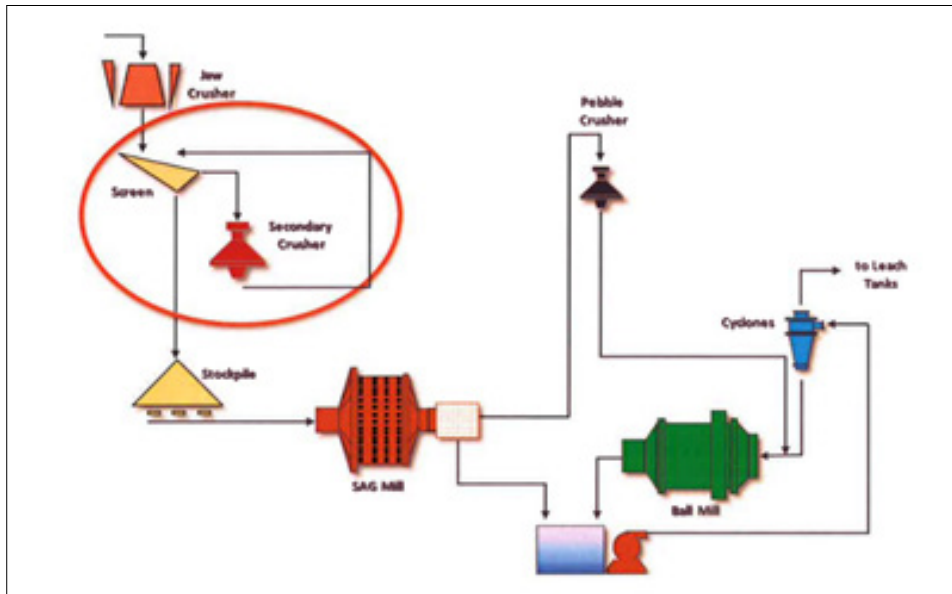


Kuva 10. Alkuperäinen murskausprosessi (Dance;Atheis;Williams;& Taplin, 2014)



Kuva 11. Murskainta siirretty eteenpäin prosessissa. (Dance;Atheis;Williams;& Taplin, 2014)

Kuvassa 11 on välivaihe, jossa murskausta jatkojalostettiin siten, että kartiomurskain (pebble crusher) siirrettiin semiautogeenimyllyn (SAG) jälkeen, jotta raekoko saatiin kuulamyllylle sopivaksi. Tällä saatiin tuotantoa nostettua 300-350 t/h:ssa. (Dance;Atheis;Williams;& Taplin, 2014)



Kuva 12. Sekundäärimurskaus lisänä prosessissa (Dance;Atheis;Williams;& Taplin, 2014)

Kuvassa 12 on simulaatioihin perustuva ehdotus, jossa aikaisempaa kokoonpanoa on parannettu siten, että primäärimurska seulotaan ja ylite (karkea jae, joka ei läpäise seulaa) ohjataan sekundääri murskaimelle. Edellä mainitun tavoin ja raekoon optimoinnilla, läpimeno saataisiin nousemaan jopa 400 t/h:ssa. (Dance;Atheis;Williams;& Taplin, 2014)

Tutkimuksen tuloksena, raportin mukaan, saavutettiin merkittävää parannusta läpimenoon ja saantiin samalla energian käyttö optimoitumaan kohteessa.

Lapin AMK OML: OML on tehnyt tutkimusta murskainten läpimenoaikojen varmistamiseksi kehittämällä suurten lohkareiden automaattista tunnistusta ja rikutusta. Optisella mittauksella voidaan optimoida syötteen määrä murskaimiin läpimenoaikojen ja murskan kulumisen sekä jauhatuskyvyn optimoimiseksi. ASM on tehnyt tutkimusta murskausten kulumisosista. Energian käytön optimoimiseksi O&M tutkimusryhmällä on osaamista. Tutkimuksesta ja sen aihealueesta voi löytyä tutkimuspotentiaalia huomioiden sovellettavuus Lapin arktisiin olosuhteisiin.

SEULONTA

Murskausvaiheita ovat siis esimurskaus, välimurskaus ja hienomurskaus. Edellä mainitut vaiheet muodostavat murskauspiirin tai -ketjun, johon kuuluu murskaimia ja seuloja. Seulojen avulla hieno aines (alite) voidaan erottaa louheesta ennen murskainta tai karkea aines (ylite) lähettää takaisin murskaimelle. (Hakapää & Lappalainen, Kaivos- ja louhintatekniikka, 2008, s. 198)

Kaivosteollisuuden markkinoille on tullut mm. pyöräkuormaajiin ja kaivinkoneisiin asennettava lisälaitte; seulamurskain (kuva 13). Laitte mahdollistaa materiaalin käsittelyn jo lastauksen yhteydessä. Materiaalin käsittelyprosessista voidaan saada vähennettyä useita eri vaiheita. Käsiteltävä materiaali voidaan prosessoida suoraan kuljettimelle tai dumpperiin ja valmis, esikäsitelty materiaali kuljettaa suoraan kaivokselta varastointiin tai satamaan, jolloin mm. kuljetus, käsittely ja varastointikustannuksissa säästetään. (ALLU Finland Oy, 2015)



Kuva 13.

Pyöräkuormaajassa oleva seulamurskain (ALLU Finland Oy, 2015)

Kun materiaali murskataan ja erotellaan kaivoksessa jo valmiiksi oikeaan kokoon, siten kuljetettavat kuormat ovat puhdaslaatuisia ja epäpuhtaudet jäävät kaivosalueelle. Edellä mainitusta seuraa että, välivarastoja käsittelemättömille materiaaleille ei välttämättä tarvita, eikä suurta murskausasemaa tarvitse hankkia. Useimmiten säästöjä syntyy käytettävien koneiden määrän vähentämisen kautta myös käytetyssä energiassa, sillä peruskoneen lisälaitteena toimiva seula tarvitsee toimiakseen vain hydraulikan peruskoneesta. Lisäsähköä tai -laitteita ei tarvita. (ALLU Finland Oy, 2015)

JAUHATUS

Jauhatusessa malmi on tarkoitus saada sellaiseen raekokoon, että malmin sisältämät arvomineraalit saadaan erotettua sivukivistä rikastusprosessissa. (Opasnet, 2014) Rikastamoilla esiintyy erilaisia jauhatuspilirejä: kuulamyllyjä (ball mill/ pebble mill), tankomyllyjä (rod mill) ja autogeenimyllyjä AG/SAG (autogenous grinding, Semi AG). Myllyillä kiveä jauhetaan pienempään raekokoon, jotta se saadaan sopivaksi esimerkiksi spiraalierotukseen.

Jauhatusta on prosessivaihe, joka yleensä kuluttaa eniten energiaa (30 - 63 %), joten jauhatuspiliriin optimointiin kiinnitetään kaivoksilla huomiota (Kauppila; Räisänen; & Myllyoja, 2011, s. 24). Myös myllyn kuorman täyttöasteen muutos vaikuttaa energiankulutukseen (Cleary, 2001). Rajmani (2007) toteaa, että tulevaisuudessa suurissa SAG-myllyjen sovellutuksissa myllyn kuoren ja massan nostinteknologia säästää vähintään 20 % energiaa. Yhden tunnin toiminta kuluttaa 350 MWh sähköä. Tällä teknologialla saavutetaan 20 % energiansäästö, joka tarkoittaa energiakulutuksen laskua 70 KWh:lla kaikissa kaivoksen toiminnoissa. (Rajmani, 2007, s. 4)

Kaivosteollisuudessa ja malminkäsittelylaitoksilla käytetään autogeenimyllyjä, jotka ovat esimerkkejä suurimmista pullonkaloista, jos puhutaan tuotantoseisokeista. Vuoraukset ovat myllyjen kriittisimpiä komponentteja, jotka suojaavat myllyn kuorta malmin jauhatuksessa. (Dandotiya, 2011) Yahyaei ja kump. (2009) ovat tutkineet AG/SAG myllyjen vuorausten suunnittelua mihin tahansa sovellukseen, jotta se parantaa myllyn käytettävyyttä. Tutkimusta varten tehtiin 3-D vuorausten kulumisprofiili, jotta löydettäisiin oikeanlainen vuorausmalli. (Yahyaei; Banisi; & Hadizadeh, 2009)

Vuorausten vaihto ja tarkastukset sekä eri erilaiset vuorauskomponenttien eliniät ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat myllyn pysähdyksiin ja sitä kautta tuotannon menetyksiin. Vuorausten kulumisen vaikutus tuotannon tehokkuuteen kaivoksilla. (Dandotiya, 2011) Ahmadzadeh ja Lundberg (2013) ovat tutkineet jauhatusmyllyjen vuorausten jäljellä olevan eliniän ennustamista käyttäen keinotekoisia neuroverkkoja (Artificial Neural Network, ANN). Tutkimuksessa analysoitiin vuorausten kulumis- ja kunnonvalvontatietoa kehittämällä ennustava neuroverkko. Menetelmän vuoksi, myllyn vuorausten purkamista ei tarvitse tehdä tai sitä ei tarvitse pysäyttää, jotta voidaan tehdä päätös vuorausten vaihtamisesta tai kunnossapidosta. (Ahmadzadeh & Lundberg, 2013) Myllyjen vuorausten kulumisen kestävyys on tutkittu, jossa tarkoituksena oli määritellä vuorausten optimaalinen vaihtoväli. Optimaalinen vaihtoväli nousi 0,3 prosentista 0,5 prosenttiin ja 95 prosenttisella varmuusvälillä myllyn voittomarginaaliin vuodessa. Nykyinen vaihtovälikäytäntö vaihdettiin tutkimukses-

sa ehdotettuun käytäntöön. (Dandotiya & Lundberg, 2012) Myllyn suunnittelussa on tärkeää vuorausten kulma ja niiden määrä. Vuorausten kulman ollessa 30 astetta ja nostinrivien oikealla määrällä (52) lisätään SAG-myllyillä läpimenoaika (Hart, ym., 2001, s. 29). Royston (2007) on tutkinut myllyn vuorausten mittausta ilman pysäyttämistä. Liian alhaisella kuulien kuormatasolla (myllyn täyttöasteella), myllyyn voi syntyä vakavia vuorausten vaurioitumisia, kuulan tai pultin rikkoutumisia kuulan osuessa suoraan kuoren vuoraukseen. (Royston, 2007)

Lane ja Siddall (2002) ovat tutkineet 15 vuoden ajanjaksolta SAG-myllyjen suunnittelun kehitystä Australiassa. Tutkittuja asioita ovat mm.

- tukilaakerien suhde kuoren (shell) tukeen,
- käytön tyyppiä ja eri järjestelmien taloudellista vertailuanalyysiä,
- jauhatuksen lietteen poiston tehokkuus ja
- myllyn vuorausten rakenne.

Parantaakseen vuorausten kulumisen kestoa ja laitoksen käytettävyyttä, usealla suuressa myllyllä on testattu myllyn vuorauksen kumilevyjä kulumisen estämiseksi ja teräs komposiittimateriaalia levyjen kiinnittämistä varten. Vuoraukset ovat myllyn kriittisin kohta. Kumisen vuorauslevyjen käytölle on ollut hyväksyntää jo vuosia varsinkin pystysuuntaisissa malleissa, paitsi suuremmilla myllyillä. Vuorausten optimaalista asennussuhdetta on myös tutkittu. Pultin reiät ovat perinteisen vuorauksen heikko kohta. Reikä voidaan korvata alapuolisella ontelolla, johon laitetaan kierretappi, tai pultinreiät suunnitellaan pyöreäpäisillä pulteille, johon lisätään suojus. (Lane & Siddall, 2002)

Laitoksen toiminnan optimoimiseksi keskitytään laitteiden toiminnan maksimoimiseen, pyritään maksimoimaan tonnit, parantamaan kulutuksen kestävyyttä ja laitoksen käytettävyyttä. Lane & Siddallin (2002, 12) mukaan SAG-myllyt ovat tavallisesti prosessin läpimenoa rajoittava tekijä. Parantaakseen prosessin läpimenoa, laitokset joissa primäärijauhatukseen menee vain yksi tuotantovirta, jota ei uudelleen käsitellä jauhatuspiirissä, luottavat seuraavaan strategiaan lisätäkseen läpimenoaika:

- Lisätään kuulamäärää
- Kivimurskauksen toteutus
- Räjätyskäytäntöjen optimointi kaivoksella ja esimurskauksen hienompi raekoko, tai
- Sekundäärimurskauksen toteutus. (Lane & Siddall, 2002)

SAG-kuulamyllyjen toiminta yli 15 % kuulamäärällä on yleistymässä (esim. Macraes Gold Mine). On havaittu, että kuulamäärän nosto parantaa hieman jauhatuspiirin energiatehokkuutta, ellei malmi ole jo valmiiksi hyvinlaatuista. (Lane & Siddall, 2002)

Lane & Siddall (2002, 13) ovat tutkineet jauhatusprosessia ja sen säätämistä. Apuna voidaan käyttää mm.:

- Visuaalista syötteenkoon analyysijärjestelmää, kuten Split ja WipFrag -ohjelmistoja
- Jatkuva-aikaisia valvonta-antureita
- Ääniantureita
- Reaaliaikaisia ennusteita, jotka perustuvat erilaisiin algoritmeihin
- Ohjausjärjestelmien optimointiin. (Lane & Siddall, 2002)

Stieger, Plummer, Latchireddi & Rajamani (2007) ovat tutkineet julkaisussaan kulta-kaivoksen operaattorien ja kunnossapidon havaintojen ja toiminnan, logiikalta saatavan historiatiedon, seisokkien havaintoja laskeakseen kuorman liikkeen, pakkaantumista nostimien väliin ja lietteen kuljetusta rutilän ja massan nostimien kautta. (Stieger;Plummer;Latchireddi;& Rajamani, 2007, s. 83) Cleary on tutkinut nostimen muotoa (suunnittelu, kuluminen) ja mallia (Cleary, 2001).

Lapin AMKin ASM ja O&M: Lapin AMKissa on osaamista aihealueelta ja tarpeiden pohjalta voidaan käynnistää erilaista hanketoimintaa. Erityisesti huomioiden arktiset olosuhteet.

PALARIKASTUS

Painovoimarikastus toimii esirikastusmenetelmänä ja sen toiminta perustuu mineraalien tiheyseroihin väliaineessa. Väliaineena voi toimia ilma tai vesi. Painovoimaerotus on rikastusmenetelmä, jossa sivukivi ja malmikivi (Hiltunen, 2013, s. 13) saadaan erotettua toisistaan, lisäksi syntyy myös välituotetta. Sivukivi menee jätteeksi, välituote menee murskan kautta uudelleen käsittelyyn hienorikastamolle ja malmikivi eli rikaste menee lopputuotevarastoon. Yleensä rikastus on kolmivaiheinen jossa saadaan rikaste, välituote ja jäte. Laitteina käytetään rumpuerotusta ja hydrosykloneita. Muita rikastusmenetelmiä ovat magneettinen rikastus ja flotaatio. (Hiltunen, 2013)

Märkärumpumagneettierottimen optimaalisen toiminnan takia syötön valmistelu ja karakterisointi on kriittistä. Seuraavilla parametreilla on suurin vaikutus: syöttölietteen sakeus, syöttöpartikkelin koko, magneettisen materiaalin määrä syötön kiintoaineesta ja syöttölietteen jakelu magneettierottimelle. Neljä toimintaparametria ovat kriittisiä optimaaliselle toiminnalle: pinnan tason säätö, rummun puhdistus, magneetin sijainti ja magneettisen rikasteen poisto. Yhteenvedona voidaan todeta optimaalisesti toimivan magneettierottimen perustuvan seuraaviin seikkoihin:

- Sopivimman suunnitelman valinta rummun ja magneetin kokoonpanon konfiguraatioksi.
- Oikea syötön valmistelu, karakterisointi ja jakelu.
- Kapasiteetti arvio perustuu molempien syötön, kiintoainesyötön nopeuden ja syöttölietteen tilavuusvirran tarpeeseen, jatkuen sopivan rummun halkaisijan ja leveyden valintaan.
- Optimaalinen pinnankorkeuden asetuksen säätö, rumpu / tankki välykset, magneetti asema ja magneettisen konsentraatin poisto. (Dworzanowski, 2010)

Yhteenveto

Lapin ammattikorkeakoulun Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisalan TKI:ssä tehtiin ”Kaivannaisalan osaamisen kehittämisen korkeakouluverkosto -NMN”-hankkeeseen liittyvä kirjallisuusselvitys. Tavoitteena oli etsiä tietoa, mitä muissa kaivosintensiivisissä maissa tutkitaan ja kehitetään kaivoksien käytettävyyden parantamiseksi. Lisäksi tavoitteena oli selvittää kuinka Lapin AMKin tutkimusryhmät voisivat löytää uusia avauksia hanketoimintaan ja sitä kautta tukea pohjoisia kaivostoimijoita ennen kaikkea kunnossapidon ja materiaalien käytettävyyden parantamiseksi.

Selvityksessä käynnissäpidon tutkimusryhmän näkökulmasta tuli esille erilaisia ratkaisuja osaamisalojen soveltavan tutkimuksen ja hanketoiminnan kohdentamiksi mm. kaivoslaitteiden elinkaaren aikaisiin kannattavuustekijöihin, autonomisesti toimiviin laitteisiin ja niiden soveltuvuuteen arktisiin olosuhteisiin. Lisäksi esille tuli kriittisten vikojen tunnistaminen, juurisyyanalyysit ja ehkäisevät toimenpiteet. Eräs mielenkiintoa herättävä aihe oli kaivoksien operatiiviseen toimintaan liittyvien tunnuslukujen määrittäminen ja niiden soveltaminen.

Materiaalitekniikan näkökulmasta materiaalitoimittajien ratkaisut ovat kehittyneet asiakkaiden tarpeiden huomiointiin. Tutkimuksen suuntauksia se viitoittaa siten, että ratkaisuissa suositaan yhä enemmän tiettyihin kohteisiin räätälöityjä materiaaleja yleismateriaalien sijaan. Kulumisen ja kuluttavan aineksen yhteisvaikutuksen tietämys auttaa räätälöinnin onnistumisesta. Materiaalitoimittajien tutkimus on todennäköisesti tähän painottuvaa, sillä osaoptimoinnilla voidaan parantaa hinta-laatusuhdetta kulloiseenkin tarpeeseen tai kohteeseen.

Lähdeluettelo

- Ahmadzadeh, F.;& Lundberg, J. (2013). Remaining useful life prediction of grinding mill liners using an artificial neural network. *Minerals Engineering*, Vol. 53, (ss. 1 - 8). doi:10.1016/j.mineng.2013.05.026
- ALLU Finland Oy. (10. 12 2015). *Seulamurskain seulontaan & murskaukseen*. Noudettu osoitteesta <http://www.allu.net/fi/tuotteet/seulamurskain/seulontaa-murskausta>
- Claudio Goncalves de Oliveira; Gilmar dos Santos Mascarenhas. (2008). *Mining equipment productivity increase and worker's safety improvement by wear materials development: Case history carried out at Vale, Brazil*. Vale, Brazil. Noudettu osoitteesta <http://www.delta3n.hu/world-congress-on-maintenance-2008/session4/01-mining-equipment-productivity-increase-and-worker's-safety-improvement-by-wear-materials-developm.pdf>
- Cleary, P. W. (2001). Charge behavior and power consumption in ball mills: sensitivity to mill operating conditions, liner geometry and charge composition. *International Journal of Mineral Processing*. 63, p. 79–114.
- Cutifani, M.;Quinn, B.;& Gurgenci, H. (1996). Increased equipment reliability, safety and availability without necessarily increasing the cost of maintenance. *Proceedings, Mining Technology Conference, Cooperative Research Center for Mining Technology, 11-12 September*. Fremantle, WA.
- Dance, A.;Atheis, D.;Williams, S.;& Taplin, D. (2014). Grinding Circuit Improvements at Evotui Mining's Edna May Operation. Australia. Noudettu osoitteesta http://www.srk.com/files/pdfs/Grinding_Circuit_Improvements_Edna_May.pdf
- Dandotiya, R. (2011). *Decision support Models for the maintenance and design of mill liners*. Doctoral thesis, Luleå University of Technology, Division of Operation and Maintenance Engineering,, Luleå. Noudettu osoitteesta https://pure.ltu.se/portal/files/34678530/Rajiv_Dandotiya.pdf
- Dandotiya, R.;& Lundberg, J. (2012). Economic model for maintenance decision: a case study for mill liners. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* Vol. 18 No. 1, (ss. 79 - 97).
- Dworzanowski, M. (2010). Optimizing the performance of wet drum magnetic separators. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, (ss. 643 - 653). Noudettu osoitteesta <http://www.saimm.co.za/Journal/v110n11p643.pdf>

- Eames, A. (2014). Technological transformation. *Solid Ground, A magazine from Sandvik Mining*, 28-29. Haettu 13. 4 2014 osoitteesta <http://viewer.zmags.com/publication/fico917d#/fico917d/28>
- GTK. (2015). *Kaiva.fi Rikastus*. Noudettu osoitteesta http://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Rikastus_kaiva.pdf
- Gustafson, A. (2013). *Automation of Load Haul Dump machines: comparative performance analysis and maintenance modeling*. Luleå: Luleå University of Technology. Noudettu osoitteesta https://pure.ltu.se/portal/files/33673764/Automation_of_LHD_machines.pdf
- Gustafson, A.;Schunnesson, H.;Galar, D.;& Kumar, U. (2013). The influence of the operating environment on manual and automated load-haul-dump machine: a fault tree analysis. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 27, 75-87. Noudettu osoitteesta <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1755182X.2011.651371>
- Hakapää, A.;& Lappalainen, P. (Toim.). (2008). *Kaivos- ja louhintatekniikka*. Opetushallitus. Haettu 15. 9 2015
- Hakapää, A.;& Lappalainen, P. (Toim.). (2008). *Kaivos- ja louhintatekniikka*. Opetushallitus.
- Hart, S.;Valery, W.;Clements, B.;Reed, M.;Song, M.;& Dunne, R. (2001). *Optimisation of the Cadia Hill SAG mill circuit*. Vancouver, B. C., Canada: SAG. Noudettu osoitteesta [http://www.metsoendress.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-120106-22576-ACE66/\\$File/051.pdf](http://www.metsoendress.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-120106-22576-ACE66/$File/051.pdf)
- Hiltunen, R. (2013). *Rautamalmin rikastus*. Kandidaatintyö, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Noudettu osoitteesta https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/91464/Rautamalmin_rikastus_Roosa_Hiltunen.pdf?sequence=2
- Huoso, M. (2010). *Syklonipatteriston suunnittelu*. Lappeenranta: Saimaan ammattikorkeakoulu. Haettu 29. 9 2015 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/23602/Miika_Huoso.pdf?sequence=1
- Hussan, A.-C. S.;Lundberg, J.;Wijaya, A.;& Ghodrati, B. (2014). *Downtime analysis of drilling machines and suggestions for improvements*. Haettu 16. 9 2015 osoitteesta Engineering, Vol. 20 iss 4: <http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/JQME-11-2012-0038>
- Hussan, A.-C.;Lundberg, J.;Alireza, A. A.;& Jonsson, A. (2015). Model for Economic Lifetime of Drilling Machines in the Swedish Mining Industry. *The Engineerin Economist*, 60(2), 138 - 154. doi:10.1080/0013791X.2014.952466
- Hyvinkään Tieluiska Oy. (2015). *varaosa www sivut*. Haettu 29. 6 2015 osoitteesta <http://www.tieluiska.fi/fi/kone-ja-tarvikemyynti/tarvikkeet-ja-varaosat/>
- Kauppila, P.;Räisänen, M.;& Myllyoja, S. (2011). *Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt*. Suomen Ympäristökeskus. Noudettu osoitteesta https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37056/SY_29_2011.pdf?sequence=3
- Keech Australia. (2015). *Plate lips*. Haettu 24. 6 2015 osoitteesta <http://www.keeche.com.au/wp-content/uploads/2012/09/6-Station-Plate-Lip-Bucket3.jpg>

- Kotkansalo, A.;& Saari, S. (2015). *Teollisuus ja luonnonvarat -T&K toiminta ja palvelut*. Lapin ammattikorkeakoulu. Haettu 16. 12 2015 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-316-115-3>
- Kähkönen, J.;Juola, V.;& Uusimäki, M. (2013). Kaivannaisalan osaamisen kehittämisen korkeakouluverkosto NMN ”Northern Mining Network” Hankesuunnitelma 1.12.2013 - 31.12.2015.
- Lane, G. S.;& Siddall, B. G. (2002). Sag Milling in Australia – Focus on the future. *Metallurgical Plant Design and Operating Strategies 2002* . Noudettu osoitteesta <http://www.orway.com.au/images/technical/Technical%20-%20SAGMilling.pdf>
- Lanke, A.;Hoseinie, H.;& Ghodrati, B. (2014). Mine Production Index (MPI): New Method to Evaluate Effectiveness of Mining Machinery. *International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Geophysical Engineering Vol:8, No:11,* 695 - 699. Noudettu osoitteesta <http://waset.org/publications/9999723/mine-production-index-mpi-new-method-to-evaluate-effectiveness-of-mining-machinery>
- Lapin AMK_a. (2015). *Käynnissäpidon tutkimus*. Haettu 2. 12 2015 osoitteesta <http://www.lapinamk.fi/fi/Tyoelamalle/Kehittamisymparistot/Kaynnissapidon-tutkimus>
- Lapin AMK_b. (2015). *Materiaalien käytettävyyden tutkimus*. Haettu 2. 12 2015 osoitteesta <http://www.lapinamk.fi/fi/Tyoelamalle/Kehittamisymparistot/Arctic-Steel-and-Mining>
- Lapin AMK_c. (2015). *Optisen mittaustekniikan tutkimus ja kehitys*. Haettu 2. 12 2015 osoitteesta <http://www.lapinamk.fi/fi/Tyoelamalle/Tutkimus-ja-kehitys/Teollisuuden-ja-luonnonvarojen-osaamisala/Optinen-mittaustekniikka>
- Lapin AMK_d. (2015). *Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osaamista*. Haettu 17. 12 2015 osoitteesta <http://www.lapinamk.fi/fi/Tyoelamalle/Kehittamisymparistot/ACE>
- Lashgari, A.;& Sayadi, A. R. (2013). Statistical approach to determination of overhaul and maintenance cost. *International Journal of Mining Science and Technology*, 441-446. Noudettu osoitteesta www.elsevier.com/locate/ijmst
- Mark Connolly, Andrew Jessetta. (2014). Integrated Support Centres - The future of dragline fleet monitoring. *Procedia Engineering* 83, 90-99. doi:10.1016/j.proeng.2014.09.018
- McGagh, J. (25. 9 2012). Mine of the Future™ –Rio Tinto’s Innovation Pathway. Haettu 12. 11 2015 osoitteesta www.riotinto.com: <http://www.sheffieldrobotics.ac.uk/wp-content/uploads/2016/01/MofF-Rio-Tintos-Innovation-Pathway-Automation.pdf>
- Motion Metric news. (2014). *MetricsGear™ Featured in International Mining Magazine and TechCrunch*. Haettu 24. 6 2015 osoitteesta <http://www.motionmetrics.com/press/metricsgear-featured-in-international-mining-magazine-and-techcrunch/>
- Mwagalanyi, H. (2008). *Analysis of theeth detection systems in Aitik Mines*. Luleå University of Technology. Haettu 24. 6 2015 osoitteesta <http://epubl.ltu.se/1404-5494/2008/028/LTU-HIP-EX-08028-SE.pdf>
- Nebot, E. M. (2007). Surface Mining: Main Research issues for Autonomous Operations. Haettu 5. 6 2015 osoitteesta <http://robots.stanford.edu/isrr-papers/final/final-25.pdf>

- Okkonen, U. (2015). Lapin AMK esittely. Haettu 15. 12 2015 osoitteesta <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=oahUKEwjqnMjJr6HKAhXinnIKHcRzB7MQFggeMAE&url=http%3A%2F%2Fjulkiset.lapinamk.fi%2FDropOffLibrary%2FLapin%2520AMK%2520esittely.pptx&usg=AFQjCNGP5jTVyot7QLLAfUePnLyCdz-REQ>
- Opasnet. (2014). *Kaivosprosessit*. Haettu 24. 6 2015 osoitteesta <http://fi.opasnet.org/fi/Kaivosprosessit>
- Parida, A. (2007). Study and analysis of maintenance performance indicators (MPIs) for LKAB: A case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 13 Iss: 4, 325 - 337. Noudettu osoitteesta <http://dx.doi.org/10.1108/13552510710829434>
- PSK6201. (2011). *Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät*, 3. painos, 30. PSK Standardisointi. Noudettu osoitteesta http://www.psk-standardisointi.fi/Standard/Suojattu_hakemisto.htm#Ryhmä62
- Rajmani, R. K. (2007). *Improving energy efficiency via optimized charge motion and slurry flow in plant scale sag mills*. Salt Lake City. doi:10.2172/922135
- Royston, D. (2007). Semi-autogenous grinding (SAG) mill liner design and development. *Minerals & Metallurgical Processing Vol.24 No.3* , (ss. 121 - 132). Noudettu osoitteesta http://www.ausimm.com.au/content/docs/branch/2013/lachlan_2013_05_presentation.pdf
- Stieger, J.;Plummer, D.;Latchireddi, S.;& Rajamani, R. K. (2007). *SAG Mill Operation at Cortez: Evolution of Liner Design from Current to Future Operations*. Salt Lake City. doi:DOI: 10.2172/922135
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2015). *Kaivosteollisuus*. Haettu 5. 6 2015 osoitteesta <https://www.tem.fi/yriytykset/kaivosteollisuus>
- Yahyaie, M.;Banisi, S.;& Hadizadeh, M. (2009). Modification of SAG mill liner shape based on 3-D liner wear profile measurements. *International Journal of Mineral Processing*, 91 , (ss. pp. 111–115).
- Yilmaz, E. (2013). Factors Affecting the Performance of Crushing Plant Operations. 23 *rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey*, (ss. 293 - 301). Antalya.
- Yilmaz, E. (2014). Field Monitoring and Performance evaluation of crushing plant operation. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, (ss. 615-630). Noudettu osoitteesta <http://www.minproc.pwr.wroc.pl/journal/pdf/ppmp50-2.615-630.pdf>

Kaivosalan osaamiskeskus

MARKKU MANNINEN POST MORTEM

Alkusanat

TkT Markku Manninen (k. 16.9.2013) toimi Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulussa (nykyinen Lapin ammattikorkeakoulu) useiden vuosien ajan opettajana sekä erityisasiantuntijana. Markku teki lähes 40 vuoden työuran pääasiassa yrityselämässä, mutta myös akateemisen tutkimuksen ja insinöörikoulutuksen parissa. Markun toimesta ja auttamana Suomeen on syntynyt useita high-tech alan yrityksiä sekä kansainvälisesti tunnustettua teknologiaa automaation, tietotekniikan ja mittaustekniikan alueilla. Lisäksi Markun hyväntahtoinen, kannustava, sitkeä ja kriittinen persoona teki pysyvän esimerkillisen vaikutuksen useisiin työkavereihin ja ystäviin.

Kaivosalan osaamiskeskus -osio on hänen vuonna 2012 kirjoittama ja ennen julkaisematon ja se sisältää vieläkin hyvin ajankohtaisia asioita. Monet niistä visioista, joita Markku maalasi, on toteutunut joko kokonaan tai osittain ja osa on edistyksellisiä, joihin voimme tulevaisuudessa vielä vaikuttaa. Julkaisemalla hänen kirjoituksensa, kunnioitamme hyvän kollegan ja ystävän työtä TKI tiimiemme kehittämiseksi.

Harri Pikkarainen & tiimi, OML

Aslak Siimes & tiimi, O&M

JOHDANTO

Tämä selvitys käsittelee kaivosalan osaamiskeskuksen perustamista Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulun (nyk. Lapin AMK) tekniikan yksikköön. Selvityksessä määritellään aluksi, mitä kaivosalan osaamiskeskuksella tarkoitetaan. Tämän jälkeen esitetään kaivosalan globaaleja trendejä, joista tärkeimmäksi nousevat turvallisuuskysymykset. Tavoitteena on saada pitkällä tähtäimellä ihminen pois kaivoksen tuotantotoiloista. Kaivosalan lähivuosien kehittämiskohteet tähtäävät nimenomaan työturvallisuuden parantamiseen. Tavoitteena on päästä nykyisestä mekaanisesta toiminnasta kohti prosessiteollisuuden omaista jatkuvaa toimintaa, missä etävalvomosta ohjataan koko kaivosprosessin toimintaa.

Selvitys sisältää myös katsauksen kaivosalan tilanteeseen Suomessa. Lähivuosien kaivosalan investoinnit ovat Pohjois-Suomessa luokkaa 3,2 miljardia euroa, kaivosteollisuuden ennustetaan työllistävän vuonna 2016 yhteensä 6000 työntekijää, kun vuonna 2010 kaivosala työllisti 3900 henkilöä.

Selvityksessä muodostetaan Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulun TKI-yksikölle kaivosalan toiminnalle visiota vuosille 2016-2020. Selvitys sisältää ehdotuksen visioksi sekä koko TKI:n toiminnalle että kullekin tutkimusryhmälle. Tutkimusryhmiä TKI:ssä on kaikkiaan neljä: 1) Materiaalin käytettävyyden tutkimus, 2) Kunnossapito, 3) Optinen mittaustekniikka sekä 4) Sulautetut järjestelmät. Tämän lisäksi selvityksessä ehdotetaan toimia sekä TKI:n sisäisen toiminnan kehittämiseksi että yhteistyön parantamiseksi TKI:n ja opetuksen välillä.

MIKÄ ON KAIVOSALAN OSAAMISKESKUS

Mitä Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulun tekniikan yksikköön perustettavalla kaivosalan osaamiskeskuksella oikeastaan tarkoitetaan? On tärkeää ensinnäkin että toiminta keskitetään meille sopiville ja valikoiduille aloille. Toisaalta on oleellista että toiminta on niin TKI:n osalla kuin opetuksessakin mahdollisimman korkeatasoista. Jotta TKI:n toiminnassa päästään mahdollisimman korkeatasoiseen ja suomalaista kaivosteollisuutta hyödyttämään toimintaan, tulisi solmia läheiset suhteet suomalaisiin kaivosalan toimijoihin, niin itse kaivosalan yrityksiin että alan alihankinta yrityksiin. Tämän lisäksi TKI:n tulisi päästä mukaan kansainvälisiin kaivosalan tutkimushankkeisiin ja solmia suhteita alan kansainvälisiin tutkimuslaitoksiin.

Korkeatasoinen kaivosalan opetus tarkoittaa sitä, että opettajakunnassa on kaivosalaa tuntevia asiantuntijaopettajia ja että opetus sisältää kaivosalaan liittyviä opetusmoduuleja. Tämän lisäksi myös muut ammatilliset opetusmoduulit voivat sisältää kaivosalan teknologiaan liittyvää opetusta. Esimerkiksi automaatioalan opetusmoduulit voisivat sisältää kone- ja laiteautomaation opetusta. Kone- ja laiteautomaation ymmärtäminen on keskeisen tärkeää, kun pyritään kohti turvallisempia etäohjattuja

kaivoksia. Myös CDIO koulutus voisi sisältää kaivoksiin liittyviä projektitöitä sekä lopputyöaiheita voitaisiin entistä ponnekkaammin hankia kaivososalta.

KAIVOSALAN YLEISIÄ GLOBAALEJA TRENDEJÄ

Kaivosteollisuus on tärkeä tulevaisuuden ala, ei ainoastaan Suomessa vaan myös globaalisti koko maailmassa. Syynä tähän on metallien kysynnän kasvu, jonka aiheuttavat maailman väkiluvun kasvu, elintason nouseminen sekä kaupungistuminen. Metallien nykyinen tuotantokapasiteetti ei riitä. Lisäksi Kiina ja Intia ovat tulleet kysyntävetureiksi.

Raaka-aineiden saanti on koettu myös strategisesti tärkeäksi toimialaksi, johon poliittinen mielenkiinto on lisääntynyt. Kaivosteollisuuden kehittäminen on tiedostettu globaalisti tärkeäksi, ei siis yksinomaan Suomessa. Tämän seurauksena eri puolilla maailmaa on runsaasti kaivoshankkeita. Kansainvälinen kilpailu alalla tulee olemaan kovaa. Työvoiman saannin turvaaminen tulee olemaan eräs kriittinen tekijä ja täten koulutus on merkittävässä asemassa. Vuonna 2010 kaivosinvestoinnit kasvoivat koko maailmassa 21 % edelliseen vuoteen verrattuna.

Mikä on tulevaisuuden kaivokselle luonteenomaista? Työturvallisuus on ensisijaisen tärkeässä roolissa. Tavoitteena on saada työntekijät pois kaivoksen tuotantotilasta (ZEPA-strategia, eli Zero Entry in Production Area). Myös ympäristöä säästävä kaivostoiminta on keskeisen tärkeää. Tämä tarkoittaa ympäristöä mittaavien sensoreiden tuottaman mittaustiedon laajamittaista käyttöä. Tavoitteena on päästä mekaanisesta kaivostoiminnasta kohti prosessimuotoista toimintaa. Työvaiheet pyritään automatisoimaan tai saamaan etäohjattaviksi (remote controlled) niin, että yhdestä alueellisesta valvomosta (control room) ohjataan koko kaivosprosessia sekä kaivoksessa toimivia koneita ja laitteita. Tärkeässä roolissa tulee olemaan koneiden ja laitteiden etäkunnossapito mikä tarkoittaa sensoreiden ja automaattisen tiedonkäsittelyn laajamittaista käyttöä. Kun pyritään maksimoimaan käytettävyys, on ennakoivan kunnossapidon tutkimus ja kehitys merkittävässä roolissa.

KAIVOSALAN KEHITTÄMISKOhteITA

Tässä kappaleessa tuodaan esille eräitä tärkeitä, globaaleja kaivosteollisuuden kehittämiskohteita, kun pyritään kohti tulevaisuuden kaivostoimintaa. Lisäksi esitetään eräiden kansainvälisten tutkimuslaitosten tutkimusohjelmia.

Alla on esitetty luettelomaisesti globaaleja tutkimuskohteita viitteen /1/ mukaisesti:

- optimaalinen lohkaroiden murskaaminen (optimized fragmentation), suuret lohkareet ovat este automaation toteuttamiselle,
- yllättävien tuotantoseisokkien estäminen huoltoa ja ennakoivaa kunnossapitoa kehittämällä,

Liitteet

- autonomisten laitteiden ja koneiden etäkunnonnonvalvonta,
- käyttäjän rooli automaattisissa ja semi-automaattisissa järjestelmissä,
- augmentoitu (täydennetty) todellisuus kaivosoperaatioissa,
- tarkastustoimintojen automatisointi,
- autonomisten valvontarobottien kehittäminen,
- kommunikaatiomenetelmien kehittäminen ohjausjärjestelmien eri toimijoiden kesken (koneet, laitteet, robotit, käyttäjä),
- paikallistavien järjestelmien kehittäminen (localization systems),
- erillisiä automatisoinnin kohteita kuten: porauskone, kuormaus- ja kuljetuslaitteet, räjähdysaineen lataus.

Alla on esitetty eräiden kansainvälisten tutkimuslaitosten tutkimusohjelmia.

CRC Mining (University of Queensland, Australia):

- kaivosautomaation tutkimusohjelma, jossa on seuraavat osa-alueet
 - autonomisten koneiden riippumaton toiminta
 - autonomisten koneiden integrointi kaivosjärjestelmään
 - työntekijöiden taitojen ja osaamisen kehittäminen, mikä mahdollistaa automaatiotason nostamisen

CSIRO (Queensland Centre of Advanced Automation, Australia):

- älykäs kaivostoiminta
- autonomiset järjestelmät
- telerobotiikka
- sensoriverkot
- koneiden törmäyksen esto
- LHD (Load Haul Dump) koneiden automaatio
- paikannus (localization)

RTCMA (Rio Tinto Centre for Mine Automation, Australia)

- tutkimuksen visio: automaattinen etäohjattu kaivos
- tutkimuskohteita
 - data fuusio
 - sensortechnologiat (mm. konenäkö ja laser scanning)
 - koneen oppiminen (machine learning)
 - säätö- ja systeemiteknologiat (mm. järjestelmien välinen kommunikointi)

Codelco, El Teniente mine, Chile

- täysin automatisoidut LHD koneet
- teleoperoidut lastausrobotit
- räjähdysaineen automaattinen lataus teleohjatulla robotilla

Muita kansainvälisiä merkittäviä tutkimuslaitoksia

- Kanadassa kolme merkittävää tutkimuslaitosta
- CSIR (Council for Scientific and Industrial Research, Etelä-Afrikka)

Autonominen kuormuri on tutkimuskohteena Rio Tinton West Angela kaivoksella Australiassa Codelco Gabriella Mistral kaivoksella Chilessä yhteistyössä Catepillarin kanssa Esimerkki 1: Autonominen kuljetus kuormuri, kts kuva 1.



Kuva 1. Autonominen kuljetus kuormuri

Esimerkki 2: LHD koneen autonominen navigointi. Kuvassa 2 on esitetty autonomisesti navigoitava LHD kuljetusajoneuvo ja kuvassa 3 ajoneuvon etävalvomo.

Liitteet



Kuva 2. Autonomisesti navigoitava LHD kuljetin



Kuva 3. LHD kuljetusajoneuvon etäohjaus

Miten Suomessa

Vuonna 2010 Suomessa toiminnassa olevia metallikaivoksia oli yhdeksän (9) ja teollisuusmateriaaleja tuottavia kaivoksia kaikkiaan 32. Vuonna 2011 yksi kaivos aloitti toimintansa ja kolme kaivosta oli rakentamisen loppuvaiheessa. Yhteensä tämä tekee 45 kaivosta. Vuonna 2012 Suomeen odotetaan 1,3 miljardin euron kaivosalan investointeja (vuonna 2010 investoinnit olivat yhteensä 390 miljoonaa euroa). Jos nämä investoinnit toteutuvat, kaivosala tulee työllistämään vuonna 2016 yhteensä 6000 henkilöä (vuonna 2010 kaivoala työllisti 3900 henkilöä).

Kiristyvät ympäristövaatimukset ja kestävä kehityksen periaate sekä muut yhteiskunnalliset paineet vauhdittavat entistä varmempien kaivosprosessien kehittämistä sekä erilaisten seuranta- ja mittausten menetelmien ja järjestelmien kehitystyötä ja käyttöönottoa. Työpaikat syntyvät harvaanasutuille seuduille täten alalle on odotettavissa rekrytointivaikeuksia. Työturvallisuus ja työpaikan houkuttelevuus tulevat olemaan avainasemassa.

Kaivosalan investointien Pohjois-Suomeen ennustetaan olevan 3,2 Miljardia euroa jakaantuen eri kaivoksien kesken seuraavasti:

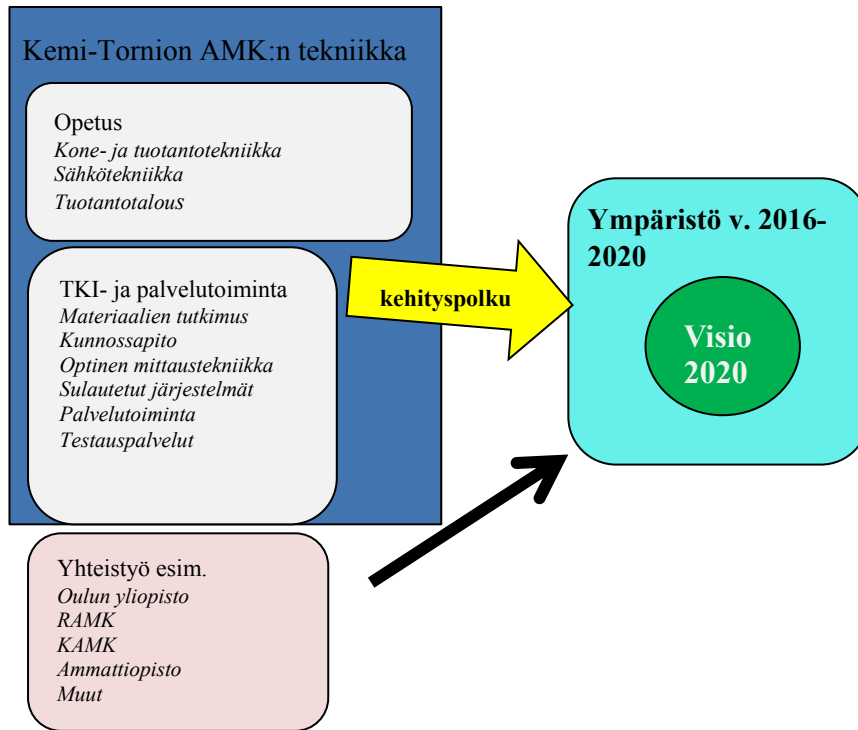
- Kevitsa (Sodankylä) 300 Milj €
- Agnigo Eagle (Kittilä) 120 Milj €
- Sokli-Yara (Savukoski) 600 Milj €
- Northland Resources (Kolari) 1000 Milj €
- Talvivaara (Sotkamo) 100-250 Milj €
- Laivakangas (Raahe) 70-90 Milj €
- Mustavaara (Taivalkoski) 300 Milj €
- Pampalo (Ilomantsi) 25 Milj €
- Laguna (Pyhäsalmi, yhteiseurooppalainen tutkimuskeskus) 500 Milj €

Suomessa käynnistyi vuonna 2011 Tekesin rahoittama Green Mining tutkimusohjelma, joka ajoittuu vuosille 2011-2016. Hankkeen budjetti on 60 Miljoonaa euroa, josta Tekesin osuus on puolet eli 30 Miljoonaa euroa. Tutkimuslaitoksille Tekes ohjaa rahoitusta tässä tutkimusohjelmassa yhteensä 10 Miljoonaa euroa.

Mihin ja miten Kemi-Tornion AMK:n tekniikan yksikössä

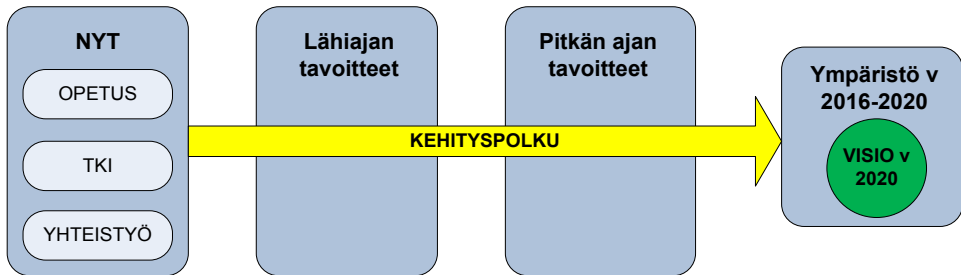
Kuvassa 4 on esitetty kaaviollisesti Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön toiminta ja toiminnan tavoite vuoteen 2012. Tässä tarkastellaan erityisesti toimintaa kaivosalalla. Tekniikan yksikön toiminta jakaantuu kuvan mukaisesti kahden osa-alueeseen: opetukseen ja TKI-toimintaan. Tavoitteena on muodostaa opetukselle sekä T&K toiminnalle yhteinen visio vuodelle 2020 sekä kehityspolku kohti vision täyttymistä. Tässä tarkastellaan nyt erityisesti visiota vuodelle 2020.

Liitteet



Kuva 4. Kaavio Kemi-Tornion AMK:n tekniikan yksikön toiminnasta

Kuvassa 5 on esitetty kehittämisprosessi (roadmap) kohti vuoden 2020 visiota. Prosessin kannalta on oleellista muodostaa aluksi visio, mihin tähdätään, ja tämän jälkeen nykytilasta lyhyen ajan tavoitteet ja edelleen näistä pitkän aikavälin tavoitteet kohti vision täyttymistä.



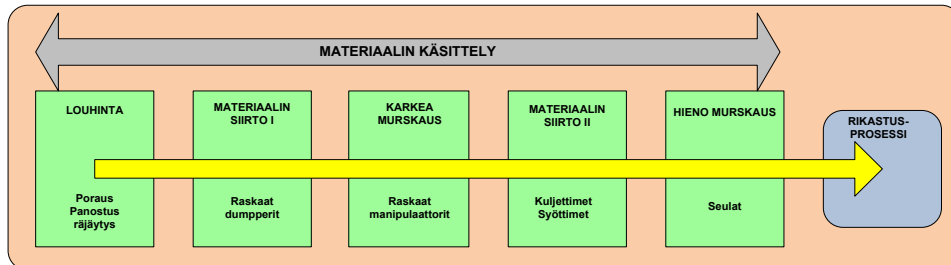
Kuva 5 Kaavio kehittämisprosessista (Roadmap)

Kehityspolkuun ja vision toteutumiseen vaikuttavia globaaleja tekijöitä ovat mm:

- Muutokset kaivosympäristössä
 - Ihminen pois tuotantotiloista
 - Tavoitteena mekanisoinnista kohti prosessimuotoista toimintaa
 - Kaivosprosessin ja ympäristön (koneet ja laitteet) etäohjaus
- Ulkopuolisen maailman toiminta
 - Kaivosalan kehittämiseksi on olemassa ja tulee olemaan massiivisia globaaleja tutkimusohjelmia
- Teknologian trendit
 - Kone- ja laiteautomaation menetelmien ja järjestelmien globaali kehittyminen
 - Tietoverkoston ja mittausteknologian kehittyminen
- Muutokset bisnes ympäristössä
 - Kaivosteollisuuden voimakas kehittyminen avaa mahdollisuuksia uudelle bisnekselle
- Rahoittajien toiminta
 - Suomessa kaivosalalle saatavissa niukasti julkista tutkimusrahoitusta

Liitteet

Kuvassa 6 on esitetty karkea kaavio kaivosprosessista.



Kuva 6. Karkea kaavio kaivosprosessista

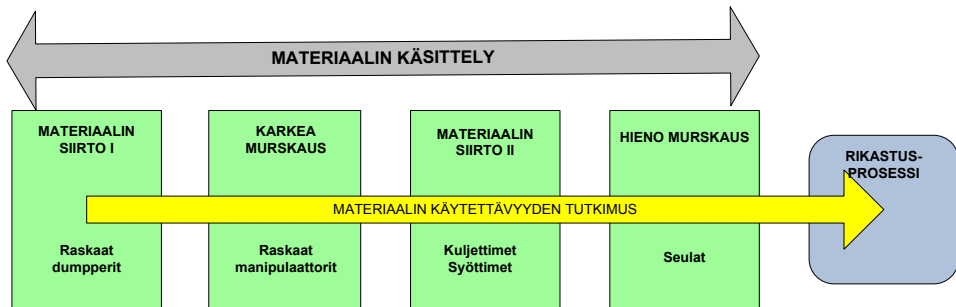
TKI:N VISIO VUOSILLE 2016-2020

Kemi-Tornion AMK:n tekniikan yksikön TKI:n tavoitteena (visiona) on saavuttaa sekä kansainvälisesti että kotimassa tunnustettu asema kaivosteollisuuden kone- ja laiteteknologian (*mining machinery*) asiantuntijana. Tavoitteena on myydä asiantunte-
musta Suomen kaivosteollisuuteen sekä osallistua kansainvälisiin kaivosalan tutki-
musprojekteihin. Tutkimuksen kohteena kaivosalalla ovat erityisesti 1) Materiaalin
käytettävyys, 2) Koneiden ja laitteiden ennakoiva kunnossapito sekä tuotanto-omai-
suuden hallinnointi, 3) Kone- ja laiteautomaatio, 4) Moderni optinen mittaustekno-
logia, 5) Kaivossuunnittelun palvelutoiminta. Sulautettujen järjestelmien osaamista
kehitetään niin, että tämä tutkimusryhmä pystyy tarjoamaan mainituille alueille
hyvän sulautettujen järjestelmien laite- ja ohjelmistotuen (HW & SW). Toiminta alu-
eena ovat koko kaivosprosessin koneet ja laitteet (*mining machinery*) louhinnasta ri-
kastukseen kuvan 6 mukaisesti.

MATERIAALIN KÄYTETTÄVYYDEN TUTKIMUKSEN (MKT) VISIO VUOSILLE 2016-2020

Materiaalin käytettävyyden visiona on olla kaivannaisteollisuuden haluttu ja luotet-
tava tutkimus- ja tuotekehityskumppani, jonka tunnustettua erityisosaamista on kai-
vosterästen elinkaaren soveltava tutkimus. Kaivosten materiaalien vaurioselvitysten
osalta tutkimusryhmä on Suomessa tiennäyttäjä. Vaurioselvitysten kautta tutkimus-
ryhmällä on kiinteä yhteys kunnossapitoon.

Materiaalin käytettävyyden tutkimus kattaa kuvan 7 mukaisesti kaivosprosessin
materiaalin siirrosta rikastusprosessiin.



Kuva 7. Materiaalin käytettävyyden tutkimus kaivosprosessissa

KUNNOSSAPIDON TUTKIMUKSEN VISIO VUOSILLE 2016-2020

Kunnossapitoryhmän tavoitteena on saavuttaa tunnustettu asema tuotanto-omaisuuden hallinnoinnissa, jolla on kaivosalan erityisosaamista. Tavoitteena on osaamisen taso, jota voidaan tuotteistettuna myydä kaivosalan toimijoille. Tutkimuskohteena on erityisesti ns. RAMS konsepti (RAMS= Reliability, Availability, Maintainability, Safety). Tutkimus kattaa kuvan 6 mukaisesti koko kaivosprosessin louhinnasta rikastukseen. Tavoitteena on saavuttaa

Kunnossapitoryhmän tutkimuskohteita ovat mm:

- RAMS konseptin soveltaminen kaivosteollisuuden koneiden ja laitteiden suunnitteluun ja ennakoivaan kunnossapitoon (elinkaariaikainen malli, suunnittelusta hävittämiseen),
- Miten asiat ovat luotettavasti mitattavissa. Tieto, joka on tietojärjestelmiin tallennettu, tulee olla luotettavaa ja sen on oltava hyvin käytettävää organisaation eri tasoilla,
- Mobiiliteknologiat kaivosalan tuotanto-omaisuuden hallinnoinnissa,
- Vaativien olosuhteiden vaikutus ennakoivaan kunnossapitoon,

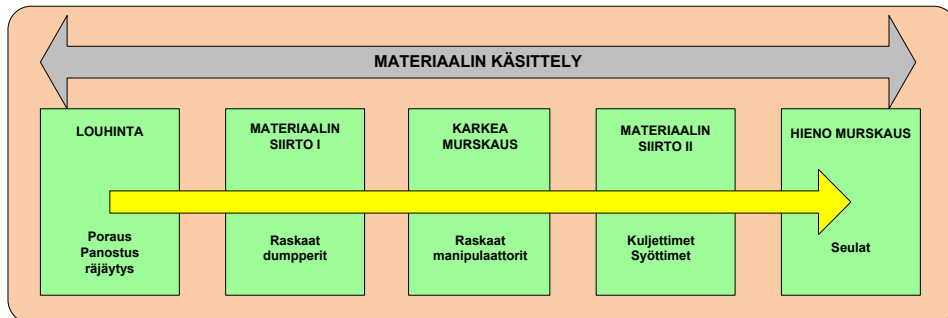
Sähköautomaation kunnossapitoon ryhmä tarvitsee osaamisen kasvattamista. Nykyinen osaamisen profiili on kone- ja laitekunnossapidossa.

OPTISEN MITTAUSTEKNIIKAN (OML) TUTKIMUKSEN VISIO VUOSILLE 2016-2020

Optisen mittaustekniikan tutkimusryhmän tavoitteena on olla kaivosalan kansainvälisesti tunnustettu asiantuntija optisessa mittausteknologiassa sekä moderniin sensoriteknologiaan perustuvassa kone- ja laiteautomaatiossa. Toiminta kattaa kuvan 8 mukaisesti lähinnä materiaalin käsittelyn, jossa kuitenkin louhinta on toisarvoisella sijalla.

Optisen mittaustekniikan tutkimusryhmän tutkimuskohteita ovat:

- Materiaalin siirrossa dumppereiden ja lastauskoneiden ohjattavuus ja turvallisuus sekä optisten sensoreiden käyttö,
- Rikottamiseen liittyvä optinen mittaus (vision systems) ja automaatio (takaisinkytkentä louhintaan),
- Kuljettimien ja syöttimien tuottavuus ja turvallisuus (kunnonvalvonta, kapasiteetti ja materiaalin karakterisointi)
- Hienomurskaus (kunnonvalvonta ja työolosuhteiden mittaus).



Kuva 8. Optisen mittaustekniikan tutkimus kaivosprosessissa

SULAUTETTUJEN JÄRJESTELMIEN VISIO VUOSILLE 2016-2020

Sulautettujen järjestelmien tutkimusryhmän tavoitteena on kehittää omaa toimintaa siten, että se kykenee ensisijaisesti tarjoamaan muille tutkimusryhmille kaivosympäristöön soveltuvia sulautettujen järjestelmien laite- ja ohjelmistotekniikan asiantuntijapalveluita.

Sulautettujen järjestelmien tutkimusryhmän kehittämiskohteita yhteistyössä muiden tutkimusryhmien kanssa voivat olla mm:

- Aidosti langattomat sensori- ja tietoverkot vaikeissa (kaivos-) olosuhteissa
 - langaton tehonsyöttö,
 - matalatehoinen ja matalataajuinen tiedonsiirto,
 - verkkotopologiat,
- Työturvallisuus
 - esimerkkinä älyvaate (tehonsyöttö, sensorit, paikannus, näyttötekniikka)

TEOLLISUUDEN PALVELUTOIMINNAN VISIO VUOSILLE 2016-2020

Teollisuuden palvelutoiminnan tavoitteena on kehittää teollisuuden ja kaivosalan koulutus- ja palveluympäristö (ns. PEC-projekti, PEC = Plant Excellence Cluster), joka mahdollistaa kokonaisvaltaisen teollisuuden suunnitteluprojektin toteuttamiseen liittyvän koulutus- ja palvelutoiminnan .

PEC-projekti sisältää seuraavat koulutuksen ja palvelun osa-alueet:

- 3D tietomallinnus,
- Materiaalien käytettävyys,
- Teollisuusstandardit,
- Prosessilaitteet ja putkistot,
- Prosessiautomaatio ja sähköistys,
- Materiaalitekniikka.

PEC-projektin kohteena kaivosalalla on koko kaivosympäristö.

KEMI-TORNION AMK:N SISÄISEN TOIMINNAN VISIO VUOSILLE 2016-2020

AMK:n sisäisen toiminnan kannalta tässä tarkastellaan pääasiassa kahta seikkaa: 1) TKI toiminnan ja opetuksen välistä yhteistyö ja 2) TKI:n sisäistä toimintaa.

TKI toiminnan ja opetuksen yhteistyö

Kaivosalan osaamiskeskuksen perustamisen tulisi näkyä opetuksen sisällössä ja opetus-henkilökunnan osaamisessa. TKI:n asiantuntijoiden roolia tulisi korostaa opetuksen suunnittelussa ja toteutuksessa niin, että opetus tukisi entistä paremmin ja monipuolisemmin TKI:n toimintaa ja päinvastoin niin että TKI:n toiminta tukisi opetusta.

Yleisiä opetukseen liittyviä toivomuksia ja ehdotuksia ovat mm:

- Perustettava kaivosalan opetusmoduuleita,
- Hankittava kaivosalaa tuntevia opettajia,
- Kaivosalan vaatimuksia otettava huomioon CDIO toiminnassa,
- Pyrittävä löytämään lopputyöaiheita kaivososalta suoraan alan teollisuudesta sekä TKI:n kautta,
- On luotava kansainvälisiä korkeakouluyhteyksiä.

Alla on esitetty toiveita ja eräitä ehdotuksia opetuksen sisältöön.

1. Materiaalin käytettävyys

- Koneinsinöörikoulutukseen on sisällytettävä kaivosalan materiaaliopetusta. On syytä olettaa, että kaivosteollisuudessa tulee olemaan entistä enempi kysyntää insinööreille, joilla on ymmärrystä kaivosolosuhteissa käytettävistä erikoismateriaaleista.

2. Kunnossapito

- Kone- ja sähköinsinöörien opetukseen on sisällytettävä kaivoksissa toimivien koneiden ja laitteiden kunnossapidon opetusta. Kunnossapito on eräs keskeinen kaivosteknologian osaamisalue.

3. Automaatio

- Automaatiotekniikan opetukseen sisällytettävä kaivosteollisuuden koneiden ja laitteiden automaation opetusta, mekatroniikka, robotiikka, telerobotiikka sekä erityisesti koneen tai laitteen ympäristöstä havaintoja tekevä sensoriteknologia (esim. törmäyksen esto (collision avoidance), semiautomaatio ja paikannus). Kone- ja laiteautomaation merkitys tulee kasvamaan siirryttäessä kohti etäohjattavia kaivosprosesseja.

4. Optinen mittausteknologia (konenäkö ja laserpohjaiset mittaukset)

- Modernin optisen mittaustekniikan opetusta on sisällytettävä opetukseen. Modernilla optisella mittaustekniikalla tarkoitetaan tässä yhteydessä mm.

konenäköjärjestelmiä sekä laserkeilausta. Alaa tuntevien insinöörien tarve tulee lähitulevaisuudessa lisääntymään kaivosteollisuudessa.

5. Sulautetut järjestelmät

- Sulautettujen järjestelmien opetusta tulisi sisällyttää opetukseen. Erityisesti langattomuuteen perustuva sulautettujen järjestelmien osaaminen on keskeinen muita aloja tukeva teknologia, jonka merkitys kasvaa erityisesti kaivosteollisuudessa. Sulautettujen järjestelmien osaaminen on erityisesti automaation ja mittaustekniikan insinöörien perustietoja ja –taitoja.

6. TKI:n sisäinen toiminta

- Kaivosalan osaamiskeskusajatuksen toteuttaminen Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulun tekniikan yksikössä vaatii asian todellisen organisoinnin ja hankkeelle vastuullisen vetäjän. Lisäksi yhteistyötä eri tutkimusryhmien kesken tulisi kehittää mm seuraavasti:
 - tulisi kehittää toiminnan avoimuutta kaikin puolin,
 - olisi lisättävä yhteistä ymmärrystä eri tutkimusryhmien toiminnan tavoitteista ja sisällöstä,
 - tulisi lisätä konkreettista yhteistyötä projektitoiminnassa, valmistelussa, toteuttamisessa ja tulosten tarkastelussa ja verifiointissa, olisi luotava projektitoiminnalle yhteinen malli,
 - yhteistyötä tulisi lisätä tulosten tuotteistamisessa ja markkinoinnissa mm yhtenäisen TKI:n resurssien ja osaamisen koordinointi ja organisointi.

VIITTEITÄ

1/SMIFU workshop, 25.10.2011, Arlanda Ruotsi

2/Kaivosalan kehitys ja vaikuttavuus, seminaari, 01.11.2011, Kittilä

3/Kaivosteollisuus, toimialaraportti 4/2011

4/Alan teknisiä julkaisuja ja eri toimijoiden web-sivustoja

Lapin AMK osallistui Opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittamaan "Kaivannaisalan osaamisen kehittämisen korkeakouluverkosto -NMN" eli Northern Mining Network -hankkeeseen yhdessä Kajaanin AMKin kanssa. Hankkeen tavoitteena oli kaivostoimialaan liittyen kehittää ammattikorkeakoulun henkilöstön osaamista, kansainvälistä toimijaverkostoa sekä korkeakoulutalouden osaamisen tarjontaa kaivannaisalan teollisuudelle. Tämä raportti on yksi osa hankkeessa tehtyä selvitystyötä, jossa etsittiin tietoa kaivosten käytettävyyden parantamiseksi tehtävästä tutkimus- ja kehitystyöstä muissa maissa. Selvityksen myötä tavoitteena oli tunnistaa Lapin AMKin tutkimusryhmille uusia avauksia hanketoimintaan ja sitä kautta tukea Pohjoisia kaivos-toimijoita.

Tämän raportin yhteydessä julkaistiin myös TkT Markku Mannisen aiemmin tekemä selvitys kaivosalan osaamiskeskuksen perustamisesta Lapin ammattikorkeakouluun. Selvityksessä on luotu myös visio Lapin AMKissa tapahtuvalle kaivosalan tutkimukselle vuosille 2016–2020.



Opetus- ja
kulttuuri-
ministeriö

LAPIN AMK

Lapland University of Applied Sciences

www.lapinamk.fi

ISBN 978-952-316-144-3